



TUGAS AKHIR – TL 141584

**PENGARUH WAKTU PENCAMPURAN DAN
TEMPERATUR SINTERING TERHADAP
KOMPOSISI FASA INTERMETALIK DAN
SIFAT MEKANIK KOMPOSIT Cu-10%wtSn
SEBAGAI MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

ALFAN ZAMIL MEILANI
NRP. 2712100020

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

**THE INFLUENCE OF MIXING TIME AND
SINTERING TEMPERATURE TO THE
INTERMETALLIC PHASE COMPOSITION AND
MECHANICAL PROPERTIES Cu-10%wtSn
COMPOSITE AS FRANGIBLE BULLET
MATERIAL**

ALFAN ZAMIL MEILANI
NRP. 2712100020

Advisor

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND
METALLURGICAL ENGINEERING**
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH WAKTU PENCAMPURAN DAN
TEMPERATUR SINTERING TERHADAP
KOMPOSISI FASA INTERMETALIK DAN SIFAT
MEKANIK KOMPOSIT Cu-10%wtSn SEBAGAI
MATERIAL PELURU *FRANGIBLE***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ALFAN ZAMIL MEILANI
NRP. 2712 100 020

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si..... (Pembimbing 1)
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si..... (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH WAKTU PENCAMPURAN DAN
TEMPERATUR SINTERING TERHADAP KOMPOSISI
FASA INTERMETALIK DAN SIFAT MEKANIK
KOMPOSIT Cu-10%wtSn SEBAGAI MATERIAL PELURU
FRANGIBLE**

Nama : Alfian Zamil Meilani
NRP : 2712 100 020
Dosen Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Rindang Fajarin, S.Si., M.Si

ABSTRAK

Komposit Cu-Sn digunakan sebagai material peluru *frangible*. Sifat yang perlu dimiliki peluru *frangible* adalah keras dan getas. Sifat keras dan getas diperoleh dari fasa intermetalik. Proses manufaktur peluru ini menggunakan metode metalurgi serbuk. Tahapan proses penelitian ini yaitu (1) *wet mixing* menggunakan variasi waktu yaitu 30, 60, 90 menit, (2) kompaksi dengan tekanan 600 MPa, (3) sintering dengan variasi temperatur 200, 300 dan 400°C dengan waktu tahan 30 menit. Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan terhadap hasil uji XRD, SEM-EDX, dan uji mekanik dapat disimpulkan bahwa persentase fasa intermetalik yang paling optimum terdapat pada waktu pencampuran 90 menit dengan temperatur sintering 400°C yaitu sebesar 45,53% Cu₃Sn dan porositas yang paling banyak ditemukan pada waktu pencampuran 90 menit di setiap variasi temperatur sintering. Nilai kekerasan dan kekuatan tekan terbesar yaitu 82,05 HRF dan 412 MPa terdapat pada komposit Cu-10%wtSn dengan waktu pencampuran 30 menit dan temperatur sintering 400°C. Nilai kekerasan dan kekuatan tekan terkecil yaitu 70,82 HRF dan 242 MPa terdapat pada komposit Cu-10%wtSn dengan waktu pencampuran 90 menit dan temperatur sintering 200°C.

Kata kunci: komposit Cu-Sn, metalurgi serbuk, fasa intermetalik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE INFLUENCE OF MIXING TIME AND SINTERING
TEMPERATURE TO THE INTERMETALLIC PHASE
COMPOSITION AND MECHANICAL PROPERTIES Cu -
10%wtSn COMPOSITE AS FRANGIBLE BULLET
MATERIAL**

Name : Alfani Zamil Meilani
NRP : 2712100020
Department : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si

ABSTRACT

Cu-Sn composite is used as a frangible bullet material. Properties that need to frangible bullets are hard and brittle. The nature of hard and brittle are obtained of intermetallic phases. The bullet manufacturing process using powder metallurgy method. Stages of the research process: (1) wet mixing using a variation of the time are 30, 60, 90 minutes, (2) compaction with a pressure of 600 MPa, (3) sintering with a temperature variation of 200, 300 and 400 °C with holding time 30 minutes. After analysis of data and discussion of test results of XRD , SEM - EDX , and mechanical tests can be concluded that the most optimum percentage of intermetallic phases contained in mixing time of 90 minutes with sintering temperature 400 °C that is 45.53 % Cu₃Sn and the most of porosity is found in mixing time of 90 minutes in each sintering temperature variations. The biggest value of hardness and compressive strength at Cu-10%wtSn composite are 82,05 HRF and 412 MPa which contained in the mixing time of 30 minutes and the sintering temperature 400 °C . The smallest value of hardness and compressive strength at Cu-10%wtSn composite are 70,82 HRF and 242 MPa which contained in the mixing time of 90 minutes and the sintering temperature 200 °C.

Keywords: *Cu-Sn composite, powder metallurgy, intermetallic phase.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat limpahan Rahmat dan HidayatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pengaruh Waktu Pencampuran dan Temperatur Sintering terhadap Komposisi Fasa Intermetalik dan Sifat Mekanik Komposit Cu-10%wtSn sebagai Material Peluru *Frangible*”**.

Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

- Allah Subhanahu Wata’ala, atas agama Rahmat-Nya sehingga saya dapat mendapat hidayah untuk tetap tegak menjadi hamba-Nya dan semoga saya selalu dipilih agar mudah mengamalkan agama-Nya yang sempurna.
- Orang tua tercinta, atas jasa–jasanya yang tak terhingga dalam mendidik dan membesarkan saya.
- Ibu Widayastuti S.Si, M.Si sebagai dosen pembimbing yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala bimbingan, masukan, dan saran yang ibu berikan.
- Kepada Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
- Ibu Rindang Fajarin, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing dan untuk Bapak Ibu dosen penguji yang sangat saya hormati. Terima kasih atas segala masukan, pertanyaan dan pencerahan yang diberikan kepada saya.
- Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
- Mas Ridha Widhianto selaku staf Laboratorium Fisika Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Mas Ridho
- Staf Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

- Staf Laboratorium Beton Teknik Sipil FTSP-ITS.
- Teman-teman seperjuangan Laboratorium Fisika Material. Nanda, Mahar, Handi, Mas Diki, Nur, Mbak Nia, Lita, Bela, Mifta, Yoga dan lain-lain.
- Teman-teman muslimah angkatan 2012 yang kami beri nama intan dan para pengurus harian JMMI ITS tahun kepengurusan 2015/2016.
- dan juga kepada seluruh teman – teman seperjuanganku MT-14, terima kasih karena sudah menjadi teman – teman terbaik di jurusan ini.

Penulis menyadari dengan keterbatasan ilmu, tentu laporan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya selaku penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca laporan ini. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi kita semua. Aamiin

Surabaya, 11 Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	hal
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak	vii
Abstrak	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Perumusan Masalah	2
1.3	Batasan Masalah	2
1.4	Tujuan Penelitian	2
1.5	Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1	Peluru <i>Frangible</i>	5
2.2	Komposit Cu-Sn	6
2.3	Metalurgi serbuk	10
2.4	Proses Pencampuran Serbuk	10
2.5	Sintering	12
2.5.1	<i>Liquid Phase Sintering</i>	13
2.5.2	Kelarutan dan Difusivitas	16
2.6	Senyawa Intermetalik	17
2.6.1	Mekanisme Pembentukan Senyawa Intermetalik pada Komposit Cu-Sn.....	18
2.7	Respon Mekanik	22
2.8	Penelitian Sebelumnya	23

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Bahan	27
3.2	Alat	28
3.3	Diagram Alir Penelitian	32

3.3.1 Preparasi Bahan	33
3.3.2 Proses Penelitian.....	33
3.3.3 Pengujian	34

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	41
4.1.1 Proses Pembuatan Komposit Cu-Sn.....	41
4.1.2 Hasil Pengujian XRD	43
4.1.3 Hasil Pengujian SEM-EDX.....	47
4.1.4 Hasil Pengujian Densitas.....	58
4.1.5 Hasil Pengujian Mekanik	59
4.2 Pembahasan	61

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bagian-bagian peluru	5
Gambar 2.2	Metode Pengadukan (a) Pengadukan difusi (b) Pengadukan Konveksi (c) pengadukan geser	11
Gambar 2.3	Kemungkinan fenomena akhir <i>liquid phase sintering</i>	13
Gambar 2.4	(a) Tahapan liquid phase sintering (b) Pelelehan <i>exuded</i> pada <i>liquid phase sintering</i>	15
Gambar 2.5	Perbedaan pengaruh kelarutan padatan pada <i>liquid phase sintering</i>	16
Gambar 2.6	Diagram fasa Cu-Sn	19
Gambar 2.7	Struktur kristal (a) fasa ϵ (Cu_3Sn) : orthohombik dan (b) fasa η (Cu_6Sn_5) : monoclinic pada temperatur rendah (fasa η') atau hexagonal pada temperatur tinggi (fasa η)	21
Gambar 2.8	Pengaruh temperatur sintering terhadap <i>properties</i> material	23
Gambar 2.9	SEM-BSE dari komposit Cu-Sn (a)porositas terlihat disekitar fasa minor (warna abu-abu)(b) fasa minor yang mengandung intermetalik Cu-Sn	24
Gambar 2.10	Gambar <i>light optical micrograph</i> nampak pola patahan sampel <i>quasi-static</i> terkoneksi pada porositas dan senyawa intermetallik Cu-Sn	25
Gambar 3.1	Alat kompaksi	29
Gambar 3.2	Alat uji XRD	30
Gambar 3.3	Alat uji SEM-EDX	30
Gambar 3.4	Alat uji tekan	31
Gambar 3.5	Alat uji kekerasan	31
Gambar 3.6	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	(a) Serbuk tembaga dan (b) serbuk timah (c) Serbuk Cu-Sn	41
Gambar 4.2	Komposit Cu-10%wtSn berbentuk pelet sebelum sintering dengan waktu pencampuran (a) 30 menit: (b) 60 menit; (c) 90 menit dan setelah disintering	

	dengan waktu pencampuran (d) 30 menit; (e) 60 menit; (f) 90 menit.....	42
Gambar 4.3	Hasil XRD komposit Cu-Sn pada temperatur 200, 300, 400°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit	45
Gambar 4.4	Persentase fasa pada komposit Cu-10%wtSn dari temperatur sintering 200, 300, dan 400°C pada variasi waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit	46
Gambar 4.5	Distribusi fasa Cu dan Cu ₃ Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 200°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit	49
Gambar 4.6	Distribusi fasa Cu dan Cu ₃ Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 300°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit	51
Gambar 4.7	Distribusi fasa Cu dan Cu ₃ Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 400°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit	53
Gambar 4.8	Analisa mapping komposit Cu-10%wtSn pada waktu pencampuran 30 menit dengan variasi temperatur sintering (a) 200°C; (b) 300°C; (c) 400°C.....	55
Gambar 4.9	Mikrostruktur etsa komposit Cu-10%wtSn temperatur 300°C a) perbesaran 3000x; b) perbesaran 5000x, kontras warna abu-abu gelap (Cu), warna abu-abu kurang terang (Cu ₃ Sn) dan warna abu-abu terang (Sn).....	57
Gambar 4.10	Grafik pengaruh antara temperatur sintering dengan densitas sinter.....	58
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara temperatur sintering dengan kekuatan tekan dan kekerasan spesimen.	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik dan mekanik tembaga.....	7
Tabel 2.2 Sifat fisik timah	8
Tabel 2.3 Sifat mekanik timah	8
Tabel 2.4 <i>Properties</i> senyawa intermetalik pada Cu-Sn.....	20
Tabel 2.5 Struktur kristal dan lattice parameter senyawa Cu-Sn	22
Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Jenis Indentor untuk metode Rockwell.....	38

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan alutsista merupakan salah satu faktor penting dalam mempertahankan eksistensi sebuah negara di bidang pertahanan dan keamanan negara. Salah satu alutsista yang terus berkembang hingga saat ini adalah peluru. Perkembangannya mulai dari peluru konvensional hingga ditemukan jenis peluru *frangible*. Peluru *frangible* didesain untuk mudah hancur ketika menumbuk benda yang keras sehingga sifat yang harus dimiliki dari peluru tersebut adalah keras dan getas. Saat ini dikembangkan penggunaan komposit Cu-Sn sebagai material pada peluru *frangible*. Sifat keras dan getas diperoleh dari fasa yang terbentuk dan distribusinya dalam sebuah spesimen peluru. Fasa intermetalik yang menyediakan sifat *brittle* pada peluru *frangible* Cu-Sn (Banovic, 2007). Untuk memperoleh fasa intermetalik yang signifikan dipengaruhi oleh waktu pencampuran serbuk dan temperatur sintering.

Beberapa penelitian membahas tentang fasa intermetalik pada komposit Cu-Sn telah banyak dilakukan. Sofyan (1996) melakukan penelitian dengan mencampurkan serbuk Cu-Sn selama 60 menit, setelah disintering menunjukkan terbentuknya senyawa intermetalik Cu_3Sn , dan Cu_6Sn_5 yang masing-masing kekerasan memiliki 510 HV. Banovic dan Mates (2008) melakukan penelitian dengan mencampurkan serbuk Cu-Sn selama 30 menit. Hasil penelitian tersebut pada temperatur 260°C sehingga ditemukan fasa Cu, fasa Sn, senyawa Cu_3Sn , dan senyawa Cu_6Sn_5 dan melakukan uji kompresi dihasilkan bahwa pola patahan selalu terkoneksi pada awal porositas dan senyawa intermetalik. Anugraha (2014) meneliti sifat mekanik dan stuktur mikro komposit peluru *frangible* Cu-Sn dan hasil penelitian tersebut terbentuk senyawa intermetalik Cu_3Sn , Cu_6Sn_5 pada temperatur 200, 300, 400°C dan terbentuk senyawa intermetalik $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ dan $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$ pada temperatur 500, 600°C .



Berdasarkan berbagai penelitian di atas diketahui bahwa variasi temperatur sintering berpengaruh terhadap pembentukan senyawa intermetalik pada komposit Cu-Sn sebagai material peluru *frangible* dan terdapat beberapa penelitian yang menggunakan waktu pencampuran yang berbeda. Oleh karena itu, perhatian utama penelitian ini adalah pengaruh waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap komposisi fasa intermetalik dan sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn sebagai material peluru *frangible*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap komposisi fasa intermetalik komposit Cu-10%wtSn?
2. Bagaimana pengaruh variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapatkan hasil akhir yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lingkungan dianggap tidak berpengaruh.
2. Pengotor diabaikan.
3. Tekanan kompaksi yang digunakan tetap.
4. Dimensi sampel homogen

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa pengaruh variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap komposisi fasa intermetalik komposit Cu-10%wtSn.



2. Menganalisa pengaruh variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn.

1.5 Manfaat Penelitian

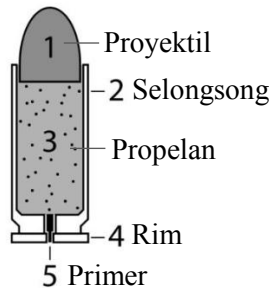
Penelitian ini diharapkan dapat memperoleh data tentang komposisi fasa intermetalik pada komposit Cu-Sn sebagai material aplikasi peluru *frangible*. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi dalam penelitian-penelitian selanjutnya guna mengembangkan kualitas proyektil peluru *frangible*. Sehingga dapat dijadikan inovasi dalam pembuatan produk persenjataan untuk mewujudkan kemandirian teknologi pertahanan dan keamanan Indonesia.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru *Frangible*

Secara umum peluru memiliki beberapa bagian yaitu proyektil, selongsong, propelan, rim dan primer. Proyektil merupakan bagian dari peluru yang meluncur di udara dan bergerak akibat adanya tekanan gas akibat pembakaran bubuk mesiu. Bagian-bagian tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Bagian–bagian Peluru (Abadi, 2015)

Peluru pada umumnya digunakan di dunia militer, baik untuk latihan maupun di medan perang. Salah satu jenis peluru yang terus berkembang adalah jenis peluru *frangible*. Peluru *frangible* adalah peluru yang didesain untuk hancur ketika benda tersebut memukul dinding atau permukaan keras lainnya untuk mencegah kejadian peluru memantul (*ricochets*) pada jarak tembak yang dekat dan bahaya *splashback* yaitu peluru memantul kembali serong ke atas sampai kembali ke arah penembak. Peluru *frangible* merupakan perkembangan baru peluru, menjadi salah satu jenis proyektil standar yang digunakan untuk pelatihan menembak (*shooting range*) dan perlindungan pribadi.

Peluru *frangible* terbentuk dari serbuk logam seperti tembaga, timah, tungsten, besi, bismuth dan baja, beberapa jenis peluru juga ditambahkan polimer sebagai pengikat. Material



tersebut dikompres ke dalam bentuk yang diinginkan. Untuk meningkatkan kinerjanya maka peluru komposit ini juga dilakukan proses sintering (Mikko, 2008).

Teknik metalurgi serbuk dapat digunakan untuk menghasilkan *metal-matrix composite* yang memiliki *properties* yang mirip dengan timbal (Mikko, 2008). Sifat dari bahan non timbal dapat dikendalikan sehingga fragmen peluru menjadi partikel-partikel kecil ketika menyentuh target keras, tetapi tetap utuh ketika menyentuh target yang lunak.

Secara umum densitas dari peluru *frangible* menurut Hansen (2008) harus memiliki densitas dengan kisaran 1,75–8,25 g/cm³. Sedangkan untuk peluru *frangible* yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm³. Pada penelitian yang dilakukan oleh S. Kruachatturat dkk (2009) menyebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru *frangible* berada pada kisaran 31 – 310 MPa, dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV.

2.2 Komposit Cu-Sn

Tembaga (Cu) merupakan logam non-ferrous yang sering digunakan. Tembaga memiliki warna kemerahan dengan struktur kristal *face centered cubic* (fcc). Kelebihan dari tembaga adalah tembaga memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, keuletan, kemudahan fabrikasi, dan ketahanan terhadap korosi (Habashi, 1997). Tembaga memiliki kekuatan dan ketahanan terhadap *fatigue* yang baik, berpotensi untuk digunakan sebagai matriks pada komposit matriks logam (ASM *Metals Handbook Vol 2*). Berikut sifat fisik tembaga pada tabel di bawah ini:

**Tabel 2.1** Sifat fisik dan mekanik Tembaga (Habashi, 1997)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Nomor Atom	29
2.	Jari-jari Atom	0,128 nm
3.	Massa Atom	63,54 g/mol
4.	Titik leleh	1083 °C
5.	Densitas	8,96 g/cm ³
6.	Hardness	40 - 50 HRB
7.	Yield Strength	40 - 120 MPa
8.	Modulus Young	100 - 120 GPa
9.	Tensile Strength	200 – 250 MPa
10.	Poisson ration	0.35

Penggunaan paduan tembaga yang sering digunakan saat ini antara lain perunggu (*bronze*), kuningan (*brass*), paduan tembaga-timah-seng. Paduan-paduan tersebut dapat digunakan untuk pembuatan senjata dan meriam yang tangguh, yang dikenal dengan istilah *gun metal*. Tembaga dengan densitas 8,96 g/ cm³ dapat digunakan untuk penggunaan material aplikatif pengganti timbal pada peluru *frangible* dengan jarak tertentu (Nadkarni, 2003).

Timah (Sn) merupakan logam yang lunak, ulet, berwarna putih keperakan. Timah tidak hanya unsur esensial dari perunggu, tetapi juga unsur paduan timbal (Pb) untuk solder dan timah plating (Habashi, 1997). Timah memiliki titik leleh rendah, fluiditas yang sangat baik ketika mencair, sifat mampu dibentuk dan siap untuk membentuk paduan dengan logam lainnya. Titik leleh rendah timah menyebabkan sifat kekuatan mekanik relatif rendah pada temperatur kamar. Sifat mekanik untuk paduan kaya timah sangat tergantung pada tingkat pengotor dan tingkat ketegangan (Grook, 1992). Sifat fisik dan sifat mekanik dari timah ditampilkan pada Tabel 2.2 dan 2.3 sebagai berikut:

**Tabel 2.2** Sifat fisik Timah (ASM Vol 2)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Nomor Atom	50
2.	Jari-jari atom	0,151 nm
3.	Massa Atom	118,69 g/mol
4.	Melting point	232 °C
5.	Densitas	7,3 g/cm ³

Tabel 2.3 Sifat mekanik Timah (Grook, 1992)

No.	Sifat	Keterangan
1.	Hardness	3.9 HB
2.	Yield strength	2,55 Pa
3.	Modulus Young	49,9 Gpa
4.	Impact strength	44.1 J
5.	Poisson ratio	0.357

Pada tabel periodik, timah terletak pada batas antara logam dan nonlogam sehingga timah memiliki 2 struktur kristal yaitu *face centered cubic* (fasa α) dan tetragonal (fasa β). Hal tersebut mempengaruhi sifat fisik, kimia, dan mekaniknya (Habashi, 1997). Karena sifatnya yang unik yaitu *wet* dan *spread ability* yang melebar ke area permukaan logam, maka timah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi. Leburan timah dapat menyebar dengan mudah pada permukaan substrat seperti tembaga, paduan tembaga, nikel, dan paduan nikel (Tan, 1993).

Kata komposit berasal dari istilah *composite material* yang berarti dua atau lebih material yang dikombinasikan dalam skala makroskopik untuk membentuk material ketiga yang lebih berguna (Jones, 1999). Unsur penyusun dari komposit ada yang disebut sebagai fasa penguat (*reinforcing phase*) dan unsur yang tertanam adalah matriks. Berdasarkan matrik penyusunnya, komposit dapat diklasifikasikan ke dalam 3 jenis yaitu: komposit



matrik polimer, komposit matrik keramik, dan komposit matrik logam (Kaw, 2006).

Komposit Cu-Sn adalah salah satu jenis komposit bermatrik logam atau *metal matrix composites* (MMCs). MMCs memiliki beberapa keuntungan yang lebih unggul dibandingkan *polymer matrix composites* yaitu elastisitas tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi, tidak sensitif terhadap lingkungan lembab, konduktivitas panas dan listrik baik, fatigue, lebih tahan lama, dan tidak mudah rusak (Kaw, 2006).

Untuk mengetahui sifat komposit selain dengan pengambilan data pada eksperimen, juga bisa didapatkan secara teori. Dengan menggunakan *Rule of Mixture (ROM)* yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \quad (2.1)$$

Dimana:

- ρ_c = densitas komposit
- ρ_m = densitas matriks
- ρ_f = densitas penguat
- V_m = fraksi volume matriks
- V_f = fraksi volume penguat

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Dimana :

- ρ = densitas
- m = massa
- v = volume

Dengan menggunakan rumus densitas (2.2) maka akan diperoleh fraksi massa.

Dengan perumusan berikut,

$$m_m = a \cdot m_c \text{ dan } m_f = b \cdot m_c \quad (2.3)$$

Dimana :

- m_m = massa matrik
- m_f = massa penguat
- m_c = massa komposit



a = fraksi massa matrik

b = fraksi massa penguat

Massa serbuk yang terdiri dari massa matriks dan massa *reinforced* dibutuhkan untuk pembuatan komposit dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

- Massa matriks

$$m_m = a \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.4)$$

- Massa *reinforced*

$$m_f = b \cdot \frac{\rho_m \cdot \rho_f}{a \cdot \rho_f + b \cdot \rho_m} \cdot v_c \quad (2.5)$$

dimana : v_c = volume komposit

2.3 Metalurgi Serbuk

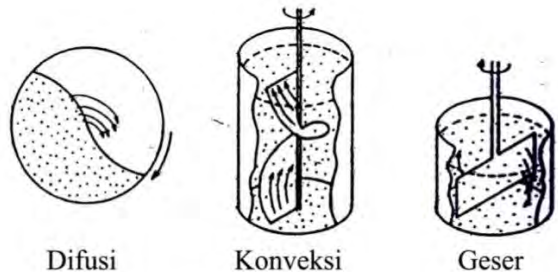
Metalurgi serbuk adalah salah metode pengolahan serbuk logam, mulai dari tahap fabrikasi, karakterisasi dan konversi dari serbuk logam menjadi suatu komponen baru yang berguna. Daya tarik dari metalurgi serbuk adalah kemampuan untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas tinggi, bentuk yang kompleks, dan biaya peralatan yang rendah (German, 1984). Prinsip dalam pembentukan serbuk adalah memadatkan serbuk logam menjadi serbuk yang diinginkan kemudian memanaskannya di bawah temperatur lelehnya. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transformasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel (Jones, 1960).

2.4 Proses Pencampuran Serbuk

Proses pencampuran atau pengadukan serbuk didefinisikan sebagai proses bercampurnya serbuk secara sempurna dengan masing-masing besaran komposisi guna menghasilkan serbuk yang homogen. Variabel yang berpengaruh dalam proses pengadukan adalah material serbuk, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan kelembaban lingkungan yang merupakan faktor eksternal proses pengadukan. Mekanisme pengadukan serbuk ada tiga *diffusion mixing* yang dilakukan pada



drum yang berputar, *convection* yang dilakukan pada pengaduk berulir dan *shear* yang dilakukan pada *blade mixer*. *Diffusion mixing* terjadi karena perpindahan tiap partikel serbuk menuju kumpulan partikel serbuk. Dengan adanya drum yang berputar secara kontinyu maka akan membuat partikel serbuk terus teraduk dan mengakibatkan adanya *intermixing* partikel serbuk. *Convective mixing* terjadi karena adanya perpindahan sekumpulan partikel menuju tempat lain yang berada dalam satu tempat pengadukan. *Shear Mixing* terjadi karena adanya aliran yang kontinyu dari serbuk sepanjang bidang geser (German,1984). Metode pengadukan dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Metode pengadukan serbuk (a) Pengadukan Difusi; (b) Pengadukan Konveksi; (c) Pengadukan Geser (German,1984)

Efektivitas pengadukan dipengaruhi oleh gaya gesek antar partikel, semakin besar friksi antar partikel semakin sulit pengadukan dilakukan. Gaya gesek antar partikel dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran partikel, semakin kecil partikel semakin besar friksi dan semakin banyak area kontak antar partikel semakin tinggi friksi yang terjadi. Selain dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan, tingkat pencampuran serbuk dipengaruhi juga oleh waktu pengadukan. Tingkat pencampuran serbuk menurun jika dibandingkan dengan waktu. Pencampuran serbuk tidak meningkat secara signifikan meski dilakukan dalam waktu yang lama.



2.5 Sintering

Kang (2005) menyatakan bahwa sintering adalah teknik pengolahan yang digunakan untuk membentuk komponen dari serbuk logam dan/atau keramik dengan memberi energi panas. Sintering merupakan salah satu tahap fundamental dari metode metalurgi serbuk. Proses sintering dilakukan dengan cara memanaskan produk awal hasil kompaksi pada temperatur di bawah titik lebur material produk dan proses tersebut akan membentuk ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom. Mekanisme difusi ialah mekanisme pergerakan atomik sehingga terjadi transfer massa.

Proses sintering ini hanya melibatkan fasa padat dari campuran serbuk. Temperatur sintering berada di bawah temperatur cair serbuk yaitu $0,6 - 0,85$ dari temperatur leleh serbuk atau biasanya $2/3$ temperatur leleh serbuk. Adapun parameter proses sintering sebagai berikut (German, 1984):

1. Temperatur sintering
Temperatur sintering berpengaruh terhadap laju difusi, temperatur harus tinggi sehingga cukup untuk atom-atom dalam serbuk berdifusi.
2. Ukuran partikel serbuk
Semakin halus serbuk maka semakin cepat dan sempurna densifikasi yang terjadi.
3. Waktu sintering
Semakin lama proses penyinteran berlangsung maka diameter serbuk semakin besar. Waktu sintering juga menentukan densifikasi tetapi tidak terlalu berpengaruh dibandingkan dengan temperatur sintering.
4. *Green density*
Green density yang tidak homogen menyebabkan “*warp*age” yaitu distribusi penyusutan yang tidak homogen sehingga timbul retak pada produk sintering
5. Tekanan kompaksi
Semakin tinggi tekanan kompaksi akan memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat sintering. Selain itu produk



awal kompaksi yang ditekan pada tekanan rendah akan menyusut (*shrinkage*) lebih besar daripada produk awal yang ditekan dengan tekanan tinggi karena tekanan kompaksi mengurangi porositas dan menaikkan densitas produk awal.

6. Atmosfer sintering

Atmosfer yang digunakan di dalam *sintering furnace* berfungsi untuk melindungi produk sinter dari reaksi oksidasi dan mengurangi kemungkinan adanya sisa oksidasi.

2.5.1 *Liquid Phase Sintering*

German (1984) menerangkan bahwa *liquid phase sintering* merupakan proses sinter yang dilakukan pada temperatur tertentu dengan melibatkan fasa cair. Syarat material logam yang dapat dilakukan proses *liquid phase sintering* adalah cairan logam harus dapat membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan dan cairan logam harus memiliki kelarutan terhadap fasa padat, contohnya ialah Fe-Cu, Cu-Sn, W-Cu, dan lain-lain.

		solid solubility in liquid	
		low	high
liquid solubility in solid	low	limited densification, rearrangement	extensive densification
	high	swelling, transient liquid	mixed effect swelling & densification

Gambar 2.3 Kemungkinan fenomena akhir *liquid phase sintering* (German, 1996)



Pada proses *liquid phase sintering*, terdapat dua kelarutan yang harus diperhatikan, yaitu kelarutan cairan dalam padatan dan kelarutan padatan dalam cairan. Kelarutan cairan dalam padatan yang tinggi tidak diharapkan karena mendorong fasa cair masuk ke dalam fasa padat. Selanjutnya terbentuk kelarutan yang tidak setimbang sehingga timbul porositas dan terjadi pengembangan selama proses sinter. Peristiwa timbulnya porositas ini sering disebut dengan istilah *swelling*. Sedangkan kelarutan padatan dalam cairan yang semakin besar sangat diinginkan karena mendorong fasa padat masuk ke dalam fasa cair sehingga mengisi porositas yang berada di dalam matriks.

German (1996) membagi *liquid phase sintering* kedalam tiga tahap (ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a)).

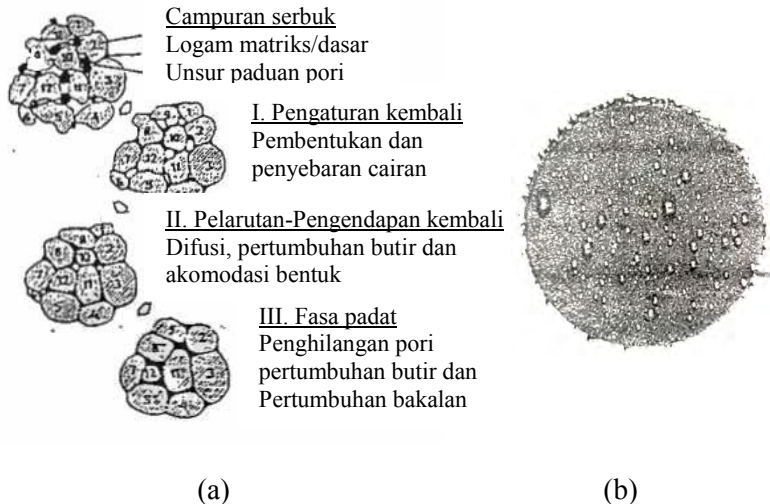
Tahap pertama. Penyusunan kembali atau persebaran cairan. Dimana pembentukan cairan dimulai dengan pembasahan cairan pada partikel padat. Aliran cairan mengalir menuju porositas dan membawa partikel padat pada daerah pusat, sehingga terjadi proses eliminasi porositas pada sintering untuk meminimalkan energi permukaan. Jumlah densifikasi pada tahap ini bergantung pada jumlah cairan, ukuran partikel dan kelarutan padatan pada cairan.

Tahap Kedua. Pelarutan dan pengendapan. Kelarutan butiran disekitar cairan berkebalikan dengan ukuran butirnya, sehingga hal ini menentukan konsentrasi yang tinggi pada cairan. Material berpindah dari butiran kecil menuju butiran yang besar dengan difusi. Proses ini dinamakan *Ostwald ripening*. Hasil yang membentuk jaring menunjukkan pertumbuhan yang progresif pada butiran yang lebih besar dan cenderung membentuk bulatan.

Tahap Ketiga. Fasa padat. Jika padatan tidak mengalami pembasahan dengan baik, maka kontak antara partikel yang berdekatan akan membentuk sebuah kerangka padat. Ini akan menghalangi terbentuknya densifikasi, meskipun strukturmikro terjadi pengkasaran yang dilanjutkan dengan difusi. Jumlah cairan pada fasa ini akan tersebar keluar atau dikenal dengan *sweating* (ditunjukkan pada Gambar 2.3 (b), hal ini dikenali dengan adanya



tetesan pada permukaan hasil sinter. Sisa poros juga akan semakin membesar jika terdapat gas yang terperangkap sehingga menyebabkan *swelling*.



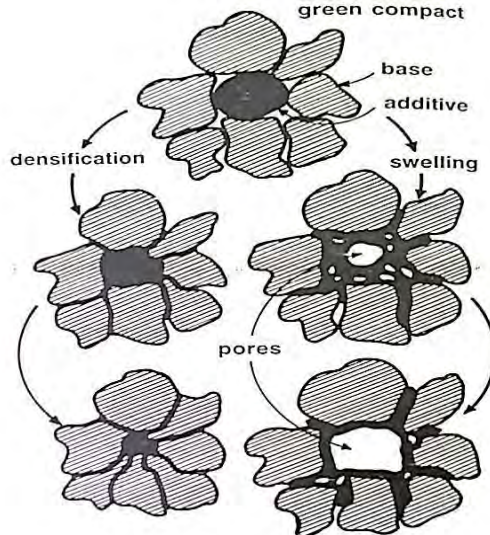
Gambar 2.4 (a) Tahapan *liquid phase sintering* dan (b) Pelelehan *exuded* pada *liquid phase sintering* (German, 1996)

2.5.2 Kelarutan dan Difusivitas

Ada dua jenis kelarutan pada *liquid phase sintering* yaitu kelarutan cairan pada padatan dan kelarutan padatan dalam cairan. Kelarutan cairan pada padatan akan menimbulkan fasa cairan sementara (*transient liquid*) dan rentan terjadi *swelling* selama proses pemanasan. Langkah pencegahannya adalah dengan kelarutan padatan pada cairan yang diinginkan agar terjadi densifikasi. Permasalahannya kemampuan padatan untuk larut dalam cairan adalah sebesar 1-20 %. Pada Gambar 2.6 terjadi perbedaan yang kemungkinan terjadi pada partikel yang kecil. Untuk sistem yang memiliki kelarutan padatan tinggi pada



cairan terjadi densifikasi, sedangkan situasi sebaliknya akan menyebabkan *swelling*. Butir yang kecil memiliki kelarutan yang lebih tinggi daripada butir yang besar.



Gambar 2.5 Perbedaan pengaruh kelarutan padatan pada *liquid phase sintering* (German, 1996)

Callister (2010) menerangkan bahwa difusi adalah fenomena perpindahan massa oleh pergerakan atom. Dalam sudut pandang atomik, difusi merupakan perpindahan atom dari satu kisi ke kisi lain. Ada dua kondisi yang harus dipenuhi agar atom dapat berpindah: (1) harus ada sebuah kisi yang berdekatan kosong, dan (2) atom harus memiliki cukup energi untuk memutuskan ikatan dengan atom tetangganya dan kemudian menyebabkan beberapa kisi distorsi selama perpindahan. Pada temperatur tertentu beberapa fraksi kecil atom dari jumlah total atom memiliki kemampuan untuk berdifusi. Proses difusi meningkat dengan meningkatnya temperatur. Beberapa jenis mekanisme difusi dalam padatan pada ilmu metalurgi yaitu difusi *vacancy* dan difusi interstitial.



Difusi *vacancy* merupakan mekanisme difusi yang melibatkan pertukaran atom dari posisi kisi yang normal ke posisi kisi kosong yang berdekatan. Proses difusi tentu saja membutuhkan adanya kekosongan pada posisi *host* atom dimana atom pengotor (*impurity atom*) menggantikan atom tersebut.

Difusi *Interstitial* adalah mekanisme difusi yang melibatkan atom yang bermigrasi dari posisi interstitial ke posisi yang kosong. Mekanisme ini ditemukan dalam interdifusi impurities seperti hidrogen, karbon, nitrogen, dan oksigen, yang memiliki diameter atom yang sangat kecil sehingga dapat masuk ke posisi interstitial. Difusi interstitial terjadi lebih cepat daripada difusi *vacancy*, karena atom interstitial lebih kecil sehingga lebih mudah bergerak. Selain itu, posisi interstitial lebih banyak yang kosong dibanding posisi *vacancy*. Maka, kemungkinan gerakan atom interstitial lebih besar daripada difusi *vacancy*.

Hukum Fick's I menjelaskan tentang laju difusi diantara dua komponen/senyawa yang berbeda konsentrasi, berdasarkan hukum Fick's I yang menjelaskan *sintering rate*.

$$J = -D_v(dC/dx) \quad (2.6)$$

Dimana J adalah laju difusi, D_v adalah difusivitas, dC adalah konsentrasi, dan dx adalah jarak. Difusivitas dipengaruhi oleh jumlah dan pergerakan *vacancy*, kedua hal ini merupakan parameter yang berlaku secara thermal serta dipengaruhi oleh komposisi dan temperatur. Dimana untuk menentukan nilai difusivitas dapat digunakan persamaan

$$D = D_0 \exp (- Q/RT) \quad (2.7)$$

Dimana D_0 adalah difusi intrinsik dari material, Q adalah aktivasi energi untuk difusi, R adalah konstanta gas, dan T adalah temperatur.

2.6 Senyawa Intermetalik

Senyawa intermetalik adalah senyawa yang tersusun dari dua atau lebih unsur logam. Dalam arti luas, senyawa yang tersusun dari unsur logam dan/atau unsur semilogam. Senyawa intermetalik memiliki beberapa macam ikatan atom, meliputi



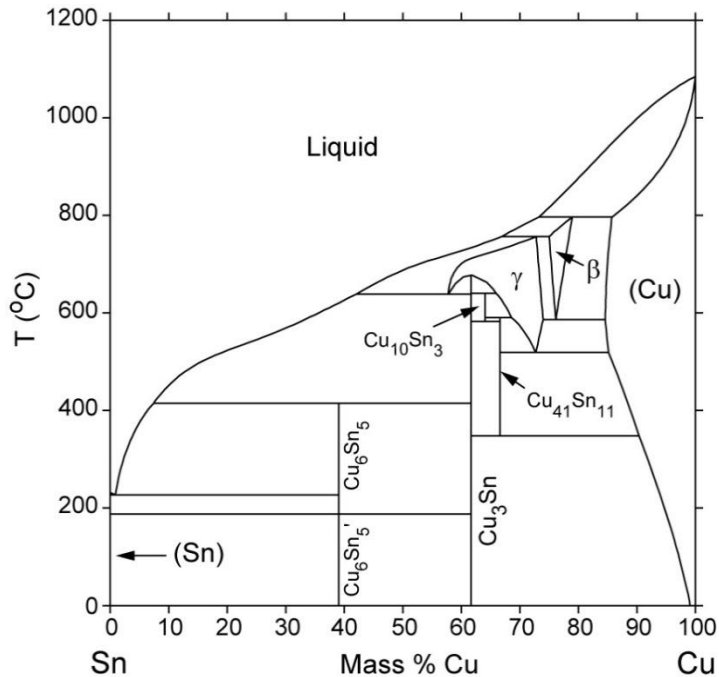
ikatan kovalen atau ikatan ionik sehingga dari ikatan atom yang sangat kuat tersebut menghasilkan sifat yang menarik untuk senyawa intermetalik itu sendiri.

Pada senyawa intermetalik, dua atau lebih unsur didistribusikan secara seragam. Energi Ikatan antaratom pada senyawa intermetalik lebih besar dibanding rata-rata dari unsur-unsur pembentuknya. Hal ini menyebabkan koefisien elastisitas tinggi, biasanya lebih tinggi daripada struktur logam murni dan paduan seperti baja, paduan Ti dan paduan Al (Nakamura, 1995).

2.6.1 Mekanisme Pembentukan Senyawa Intermetalik Komposit Cu-Sn

Pada proses sintering, peningkatan temperatur menyebabkan partikel Sn akan secara cepat meleleh karena titik leleh Sn adalah temperatur $231,9^{\circ}\text{C}$ sedangkan titik leleh Cu adalah 1083°C . Atom-atom Cu berdifusi ke dalam cairan Sn membentuk fasa intermetalik (Mishra, 2013). Pada diagram fasa Cu-Sn, ketika Cu tersebar dalam lelehan Sn, kristal Cu_6Sn_5 mudah tumbuh. Fasa tersebut (bersama dengan Cu_3Sn) adalah fasa yang akan terbentuk (Larsson, 1994). Selama proses sintering, fasa Cu_6Sn_5 terbentuk lebih banyak dan membentuk struktur lapisan yang menutup laju difusi. Hal ini menyebabkan pembentukan fasa Cu_3Sn lebih sedikit dibanding fasa Cu_6Sn_5 . Pembentukan dari fasa Cu_3Sn dimulai dari perubahan morfologi dari lapisan Cu_6Sn_5 . Pertumbuhan fasa Cu_6Sn_5 hanya dikontrol oleh jumlah Cu yang dalam komposit Cu-Sn.

Namun, pada kondisi temperatur sintering tinggi, lapisan Cu_3Sn terbentuk dalam waktu singkat (Rao, 2010). Hal ini dikarenakan terdapat energi termal yang besar sehingga menyebabkan energi aktivasi yang tinggi sehingga terjadi proses interdiffusion dari unsur-unsur pembentuk.



Gambar 2.6 Diagram fasa Cu-Sn (Shim, 1996)

Mishra (2013) menganalisa mikrostruktur dari paduan Cu-Sn. Ketika partikel Sn meleleh, secara bertahap partikel Cu menyebar pada Sn membentuk senyawa intermetalik. Dengan perlahan-lahan, kelarutan Cu pada Sn berkurang dan berhenti ketika Sn telah berdifusi dengan Cu secara keseluruhan.

Selain kelarutan padatan dalam cairan, dalam *liquid phase sintering* terjadi pula fenomena kelarutan cairan dalam padatan. Menurut Sofyan (1996) cairan Sn menyebar pada Cu membentuk fasa η (eta) dimana titik leleh tertinggi pada 600°C. Berikutnya pada pemanasan hingga mencapai 500°C tren difusi adalah partikel Sn menuju matriks Cu sehingga akan terbentuk pinggiran fasa α -perunggu pada daerah kaya Sn. Dimana terjadi fasa



rangkap η (eta) dan δ (delta). Pemanasan yang semakin berlanjut, area α -perunggu akan meningkat.

Beberapa senyawa intermetalik pun dapat diamati propertiesnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. *Properties* senyawa intermetalik pada Cu-Sn (Rao, 2010)

Properties	Fasa	
	Cu_3Sn	Cu_6Sn_5
Komposisi	79,60% Cu; 17,60% Sn	56,67% Cu; 49,94% Sn
Kekerasan	6,5 GPa	5,9 GPa
Modulus elastisitas	136 GPa	108 GPa

Dari Tabel 2.4 di atas terlihat bahwa sifat mekanik dari fasa Cu_6Sn_5 dan Cu_3Sn berbeda. Fasa Cu_3Sn memiliki nilai kekerasan dan modulus elastisitas yang tinggi. Hal ini karena Cu_3Sn mengandung unsur Cu yang lebih banyak dibanding fasa Cu_6Sn_5 (Rao, 2010).

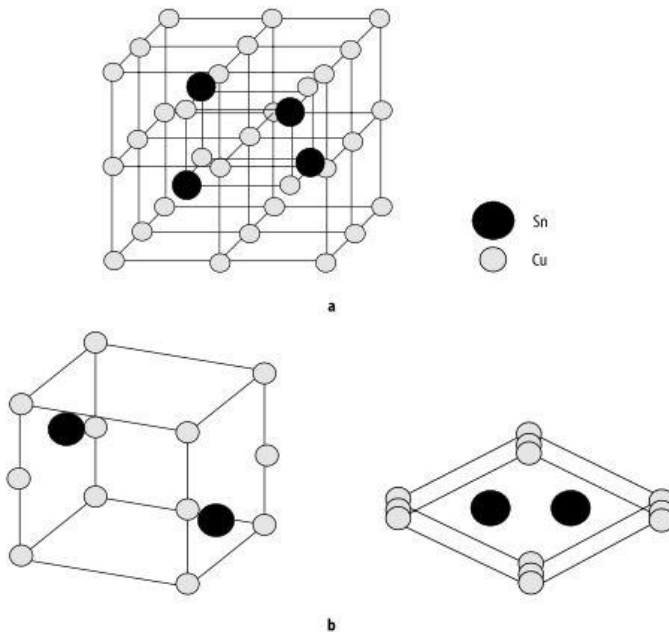
Fasa Cu_6Sn_5 memiliki 2 struktur kristal. Pada temperatur tinggi Cu_6Sn_5 memiliki struktur kristal hexagonal sedangkan pada temperatur rendah memiliki struktur monoklinik. Transformasi alotropik dari monoclinic Cu_6Sn_5 (η') yang stabil pada temperatur rendah ke hexagonal Cu_6Sn_5 (η) yang stabil pada temperatur tinggi mulai terbentuk pada temperatur 186°C (Mishra, 2013). Cu_6Sn_5 yang berstruktur kristal monoklinik stabil hingga temperatur 200°C dan sekitar temperatur 210°C akan terbentuk ϵ - Cu_3Sn (Wu, 2012).

Sorokin (1985) menerangkan bahwa pada temperatur 600°C sudah tidak terbentuk fasa ϵ dan δ meskipun titik leleh dari fasa ϵ adalah 640°C. Selain itu, proses sintering pada campuran serbuk Cu dan Sn, fasa liquid tidak akan memberikan efek densifikasi selama proses sintering pada temperatur rendah.



Pengaruh komposisi Sn terhadap volume penyusutan dan densitas relatif setara dengan temperatur *homologous* $T_{\text{sint}}/T_{\text{leleh}}$. Kebanyakan material memiliki temperatur *homologous* diantara 0,5 dan 0,8 (German, 1996).

Pada Gambar 2.6 menggambarkan struktur kristal dari Cu-Sn, sedangkan pada tabel 2.7 perbandingan struktur kristal dan parameter kisi dari Cu, Sn, Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 .



Gambar 2.7 Struktur kristal (a) fasa ϵ (Cu_3Sn) : orthohombik dan (b) fasa η (Cu_6Sn_5) : monoclinic pada temperatur rendah (fasa η') atau hexagonal pada temperatur tinggi (fasa η) (Kwon, 2007)



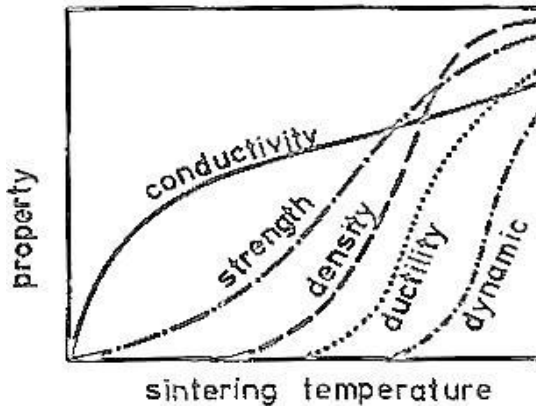
Tabel 2.5 Struktur kristal dan lattice parameter senyawa Cu-Sn (Kwon, 2007)

Fasa	Struktur Kristal	Lattice Parameter		
		a(Å)	b(Å)	c(Å)
β -Sn	Tetragonal	5.831	5.831	5.831
η' -Cu ₆ Sn ₅	Monoklinik	11.022	7.282	9.827
ϵ -Cu ₃ Sn	Orthorhombik	5.521	33.25	4.328
Cu	Kubik	3.6150	3.6150	3.6150

2.7 Respon Mekanik

Sifat mekanik merupakan hal yang penting untuk banyak material yang disintering. Pada densitas rendah, ikatan sinter pada interpartikel menentukan kekuatan suatu produk sinter. Untuk densitas tinggi, kekuatan memiliki ketergantungan yang kompleks terhadap porositas dan batas butir partikel (German, 1996).

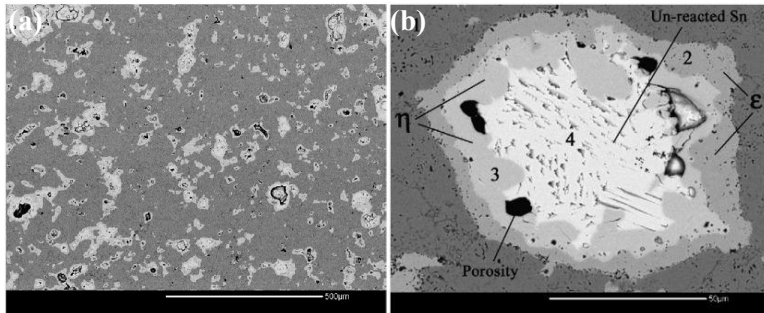
Temperatur sangat mempengaruhi perpindahan massa pada proses sinter karena dengan meningkatnya temperatur sinter, akan mendorong terjadinya *interdiffusion* dari serbuk hasil kompaksi (*green compact*) dan meningkatkan kepadatan pada hasil proses sinter. Sehingga, dengan semakin meningkatnya temperatur sintering, semakin meningkat pula sifat mekanik pada material hasil sintering tersebut. Gambar 2.8 menunjukkan pengaruh temperatur sinter terhadap sifat mekanik dari material.



Gambar 2.8 Pengaruh temperatur sintering terhadap *properties* material (German, 1984)

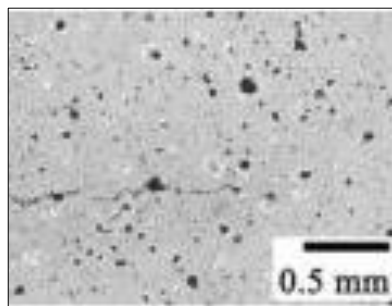
2.8 Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang fasa intermetalik komposit Cu-Sn untuk aplikasi peluru *frangible*. Pada tahun 1996, Sofyan melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi dan variabel proses terhadap karakterisasi Cu-Sn. Dimana menggunakan komposisi 5, 10, 15% Sn, tekanan kompaksi 200, 300, 400 MPa, temperatur sintering 800 °C, 850 °C, 900°C, dan waktu tahan 45 menit. Proses awal pencampuran dari penelitian tersebut dalam waktu 60 menit. Hasil penelitian tersebut adalah terbentuk senyawa Cu_3Sn , dan senyawa Cu_6Sn_5 yang memiliki stuktur kristal dan massa jenis yang berbeda namun memiliki kekerasan yang sama yaitu sebesar 510 HV. Pada tahun 2007, Banovic melakukan penelitian mengenai karakteristik mikrostruktur dan perilaku mekanik peluru *frangible* komposit Cu-Sn. peluru *frangible* Cu-Sn dibuat dengan menggunakan teknik metalurgi serbuk. Hasil analisa strukturmikro dari penelitian tersebut adalah terbentuk fasa Cu, fasa Sn, senyawa Cu_3Sn , dan senyawa Cu_6Sn_5 . Serta diuji kekerasannya dengan uji kekerasan Rockwell B didapatkan hasil sebesar 22,9 HRB, 21,6 HRB, dan 22,4 HRB.



Gambar 2.9 SEM-BSE dari komposit Cu-Sn (a) porositas terlihat disekitar fasa minor (warna abu-abu) dan (b) fasa minor yang mengandung intermetalik Cu-Sn. (Banovic, 2007)

Pada Gambar 2.9 diatas merupakan gambar strukturmikro sampel Cu-Sn yang telah dietsa dengan pengujian SEM-BSE terlihat bahwa ada fasa intermetalik dan porositas terdistribusi heterogen, dan fasa Cu. Di tahun selanjutnya yaitu tahun 2008, Banovic dan Mates melakukan penelitian mengenai analisa mikroskopik patahan mekanik peluru *frangible* Cu-Sn pada keadaan *quasi-static* dan *dynamic compression*. Mereka menyimpulkan bahwa pola patahan yang selalu terkoneksi pada awal porositas dan senyawa intermetallik Cu-Sn.



Gambar 2.10 Gambar *light optical micrograph* nampak pola patahan sampel *quasi-static* terkoneksi pada porositas dan senyawa intermetallik Cu-Sn (Banovic, 2008)



Tahun 2014, Anugraha melakukan penelitian mengenai analisa karakteristik strukrumikro dan sifat mekanik komposit peluru *frangible* Cu-Sn, didapatkan hasil bahwa variasi temperatur sintering memberikan karakteristik strukturmikro yang berbeda. Pada temperatur sintering 200, 300, dan 400°C memiliki karakteristik yang sama yaitu senyawa intermetalik Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 . Kemudian, pada temperatur sintering 500 dan 600°C memiliki karakteristik yang sama yaitu terdapat senyawa intermetalik $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$ dan $\text{Cu}_{10}\text{Sn}_3$. Serta dinyatakan bahwa semakin tinggi temperatur sintering maka persentase senyawa intermetalik yang terbentuk juga semakin banyak dan peningkatan nilai sifat mekanik dipengaruhi oleh jumlah porositas dan senyawa intermetalik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk Cu sebagai *matrix* dan serbuk Sn sebagai *reinforcement*.

1. Serbuk Cu
Serbuk Cu dengan kemurnian 99% produk Merck dengan spesifikasi sebagai berikut:
Ar : 63,55 g/mol
Densitas : 8,96 g/cm³
Temperatur *melting* : 1083°C
Ukuran serbuk : <63 µm
2. Serbuk Sn
Serbuk Sn dengan kemurnian 99,8% produk Sigma Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:
Ar : 118,71 g/mol
Densitas : 7,3 g/cm³
Temperatur *melting* : 232°C
Ukuran serbuk : <45 µm
3. Pelumas
Pelumas digunakan untuk mengurangi gesekan yang terjadi antar serbuk maupun antara serbuk dengan dinding *dies* cetakan saat dilakukan kompaksi. Pelumas yang digunakan adalah *Zinc Stearate* produk Sigma-Aldrich dengan spesifikasi sebagai berikut:
Densitas : 1,09 g/cm³
Temperatur *melting* : 131°C
4. Pelarut Polar
Pelarut polar yang digunakan yaitu ethanol karena mudah menguap sehingga mempermudah dalam proses pengeringan serbuk.
5. Gas Nitrogen
Gas nitrogen digunakan untuk menghindari terjadinya reaksi oksidasi selama proses sintering.



3.2 Alat

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Dies*
Sebagai cetakan berbentuk silinder dari material AISI 4340 dan memakai punch AISI 1045 untuk menghasilkan bentuk pellet dengan diameter 10 mm.
2. *Magnetic stirrer*
Digunakan pada saat proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.
3. *Combustion Boat*
Digunakan untuk wadah spesimen ketika proses sintering.
4. *Horizontal furnace*
Horizontal furnace dengan merk Carbolite Tube Furnace STF 16/450 digunakan untuk pemanasan pada proses sintering.
yang digunakan untuk pemanasan pada proses sintering.
5. Spatula
Digunakan untuk mengambil serbuk Cu dan Sn dari wadah serbuk.
6. *Beaker glass*
Digunakan sebagai tempat pencampuran serbuk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.
7. *Spinbar*
Digunakan sebagai alat pengaduk serbuk Cu dan Sn selama proses pencampuran serbuk Cu dan Sn.
8. Masker dan Sarung tangan
Digunakan sebagai alat keamanan untuk mengantisipasi pencemaran serbuk.
9. Jangka sorong
Digunakan untuk mengukur dimensi dari komposit Cu-Sn setelah dikompaksi.
10. Timbangan digital
Timbangan digital (Metler Toledo) untuk menimbang massa serbuk Cu dan Sn serta sampel setelah proses sintering.



11. Alat kompaksi

Alat kompaksi (Marui & Co.Ltd) dengan kapasitas 20 Ton digunakan untuk mengkompaksi serbuk Cu dan Sn yang telah dicampur sebelum proses sintering dengan menggunakan tekanan 600 MPa.



Gambar 3.1 Alat kompaksi

12. Alat uji XRD

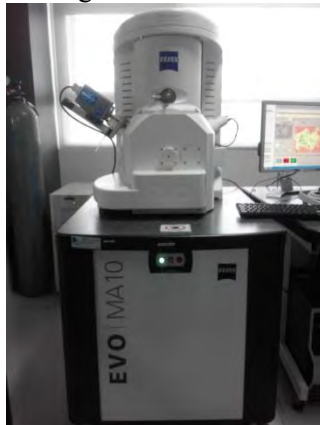
Alat uji XRD (PANalytical) bertujuan untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk, penentuan komposisi senyawa, penentuan struktur kristal, dan lain-lain.



Gambar 3.2 Alat uji XRD

13. Alat uji SEM-EDX

Alat uji SEM-EDX (Evo MA10) digunakan untuk mengetahui morfologi, komposisi unsur, dan prosentase atom unsur pada sampel komposit Cu – Sn setelah dilakukan proses metalurgi serbuk dengan variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering.



Gambar 3.3 Alat uji SEM-EDX



14. Alat uji tekan (*Universal Testing Machine*)

Alat UTM (Gotech GT-7001-LC50) digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari sampel komposit Cu -Sn setelah diproduksi dengan proses metalurgi serbuk.



Gambar 3.4 Alat uji tekan

15. Alat uji kekerasan

Alat uji kekerasan (HBRV-187.5A) digunakan untuk mengetahui nilai kekerasan dari sampel komposit Cu-Sn setelah dilakukan proses metalurgi serbuk. Uji *hardness* ini menggunakan skala Rockwell F.

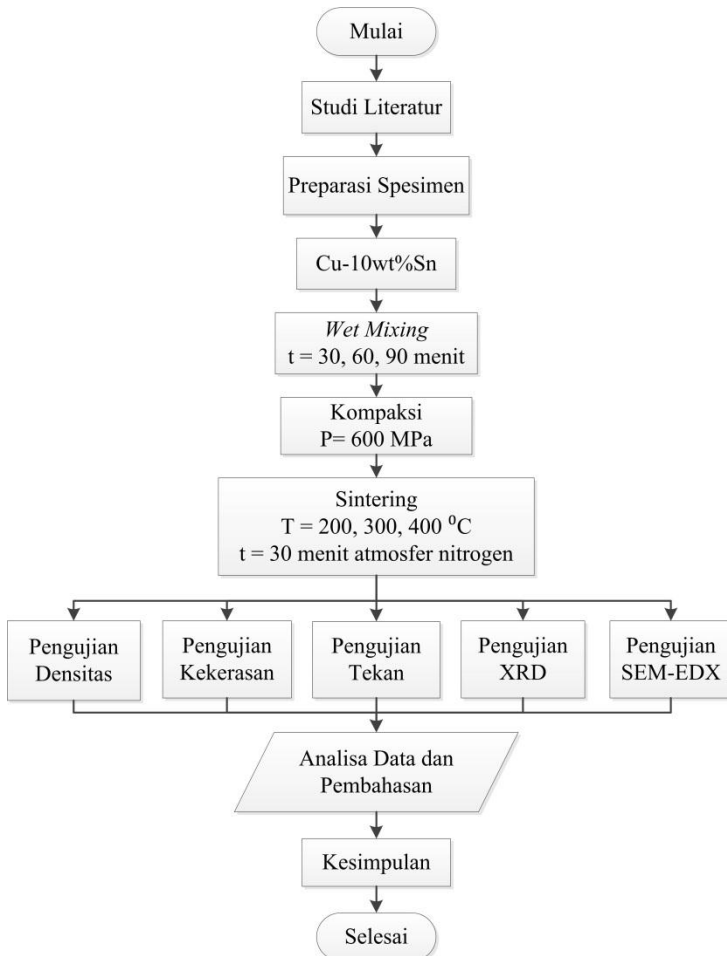


Gambar 3.5 Alat uji kekerasan



3.3 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian



3.3.1 Preparasi Bahan

Sebelum melakukan proses penelitian maka hal yang harus dilakukan adalah preparasi bahan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Penimbangan serbuk berdasarkan perbandingan berat komposisi Cu-Sn yaitu 9:1 dan massa yang dibutuhkan disesuaikan dengan desain pelet ukuran 1x1 cm sehingga massa Cu adalah 6,8 gram dan massa Sn adalah 0,76 gram. Selain itu, sampel ditambahkan *zinc stearate* sebanyak 0,5% dari berat Cu-Sn.
2. Pencampuran serbuk Cu-Sn menggunakan metode *wet mixing*, yaitu dilakukan dengan cara memasukkan serbuk kedalam *beaker glass* yang ditambahkan *zinc stearate* sebanyak 0.5% dari berat Cu-Sn dan ditambahkan ethanol sebanyak 10 tetes dan ditutup dengan aluminium foil kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 350 rpm, temperatur 90⁰C selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit untuk setiap sampel.

3.3.2 Proses Penelitian

Proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Memasukkan serbuk yang telah dimixing ke dalam cetakan/*dies*.
2. Melakukan kompaksi dengan tekanan 600 MPa atau 3.5 ton dan ditahan selama 5 menit.
3. Menimbang massa sampel hasil kompaksi menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
4. Mengukur diameter dan tinggi sampel menggunakan jangka sorong.
5. Menghitung densitas sebelum sintering (*green density*) menggunakan prinsip hukum Archimedes.
6. Melakukan sintering dengan variasi temperatur 200, 300, 400⁰C dengan waktu tahan 30 menit. Proses sintering menggunakan *horizontal tube furnace* (merk Carbolite Tube Furnace STF 16/450).



7. Menimbang massa sampel menggunakan neraca digital (merk Metler Toledo).
8. Mengukur tinggi sampel menggunakan jangka sorong.
9. Menghitung densitas setelah sintering (*sinter density*) menggunakan prinsip hukum Archimedes.
10. Melakukan pengujian XRD untuk mengetahui fasa apa saja yang terbentuk dan persentase fasa intermetalik yang terbentuk. Kemudian, Pengujian SEM-EDX untuk mengetahui morfologi dari sampel yang dihasilkan. Pada pengujian SEM sampel yang digunakan dipotong secara *cross-section* dengan menggunakan *wire cut*. Hal ini dikarenakan sampel yang terbentuk bersifat *brittle* sehingga tidak bisa dipotong dengan gergaji biasa. Sampel yang telah dipotong *cross section* kemudian dilakukan *grinding* dengan kertas amplas dari 500, 1000, dan 2000 hingga permukaan rata. Hal ini dilakukan agar pada pengamatan SEM, morfologi fasa intermetalik yang terbentuk dapat terlihat.
11. Melakukan uji *hardness* (kekerasan) menggunakan metode Rockwell F. Sampel yang digunakan pada pengujian kekerasan dengan perulangan masing-masing 3 kali dan indentasi minimal 3 titik.
12. Melakukan uji tekan (*compression test*) dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (merk Gotech GT-7001-LC50) untuk mengetahui kekuatan tekan dari sampel. Sampel yang digunakan pada pengujian kekerasan dengan perulangan masing-masing 3 kali.

3.3.3 Pengujian

1. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui densitas setelah proses metalurgi serbuk. Pengujian densitas dilakukan dua kali, yaitu: *Green density* dan *Sinter density*. Untuk pengukuran *green density* dan *sinter density* dilakukan dengan prinsip Archimedes.



$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_k} \quad (3.1)$$

$$\rho_2 = \frac{m_k}{V_k} \quad (3.2)$$

(Tipler, 1991)

Dimana:

ρ_1 = densitas air(g/cm³)

V_k = Volume sampel (cm³)

ρ_2 = *green density* atau *sinter density*(g/cm³)

m_1 = massa sampel dalam air(g)

m_k = massa kering(g)

2. Pengujian Fasa (XRD)

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari suatu material. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fasa struktur material dan mengetahui komposisi fasa yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji. Tahapan pengujian XRD yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Sampel diletakkan pada *holder*, agar penembakan dengan XRD sesuai dengan yang diinginkan, maka spesimen harus memiliki permukaan yang rata dengan *holder*. Agar *peak* yang dihasilkan tidak terlalu tinggi maka spesimen harus memiliki tinggi tidak lebih dari 10mm.
- 2) *Holder* diletakkan pada mesin XRD.
- 3) Data yang ditampilkan pada layar komputer berupa grafik dengan puncak pada sudut tertentu.
- 4) Data yang dihasilkan dilakukan analisa kualitatif dengan pencocokan puncak kurva dari data terukur hasil XRD dengan menggunakan software *High Score* atau dengan data kartu ICDD.
- 5) Data yang dihasilkan dilakukan analisa kuantitatif dengan menggunakan software *rietica*.



3. Pengujian SEM-EDX

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) berfungsi untuk mengetahui morfologi, komposisi unsur dan persentase atom unsur pada sampel uji dan tingkat homogenitas sampel dapat diketahui. Pengamatan dengan SEM memiliki resolusi yang tinggi dari perbesaran 10 sampai dengan 100.000 kali dan kedalaman hingga 3 – 100 nm. Mekanisme pengambilan data pada SEM adalah *electron gun* yang memproduksi *electron beam*, anoda menangkap *electron beam* yang diarahkan ke sampel kemudian lensa magnetik akan memfokuskan *beam* dan menembakkan ke sampel. *Scanner* membaca struktur permukaan sampel yang selanjutnya menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol sehingga dapat dilihat gambarnya pada monitor. Tahapan yang akan dilakukan pada pengujian SEM adalah sebagai berikut:

- 1) Permukaan sampel yang akan diuji diratakan dan dihaluskan dengan menggunakan ampelas grade 500, 1000 dan 2000 lalu dietsa dengan larutan 3 g FeCl_3 , 50 ml aquades, 25 ml HCl, dan 100 ml etanol.
- 2) Sampel diletakkan pada *holder*, dimana *holder* telah ditempel dengan *tape*.
- 3) Spesimen kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* dengan kondisi vakum. Spesimen yang digunakan telah dilakukan proses pemotongan *cross section* agar fasa dan senyawa yang terbentuk dapat terlihat dengan jelas.
- 4) Pengamatan dilakukan dengan dua metode yakni dengan menggunakan *scanner* biasa jika senyawa dan fasa yang dicari sudah terlihat. Dan dilakukan pengamatan *back scattered electron* untuk lebih membedakan fasa yang terbentuk dengan gradasi warna yang dihasilkan.
- 5) Setelah diletakkan pada *holder* kemudian spesimen dimasukkan ke dalam mesin. Selanjutnya hasil bisa diamati menggunakan komputer.



4. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari suatu material. Pengujian metode Rockwell memiliki beberapa skala pada penggunaannya tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Beberapa skala dari pengujian dapat diketahui dari tabel 3.1. Untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C, dan angka kekerasannya dinyatakan dengan R_B dan R_C . Untuk skala B harus digunakan indenter berupa bola baja berdiameter $1/16''$ dan beban utama 100 kg. Kekerasan yang dapat diukur dengan Rockwell B mencapai R_B 100. Kekerasan yang diukur dengan skala B relatif tidak begitu tinggi, untuk mengukur kekerasan logam yang keras digunakan Rockwell C atau Rockwell A. Sedangkan dengan Kekerasan Rockwell F dengan indenter berupa bola baja dengan beban 60 kg. Rockwell F digunakan untuk material yang memiliki kekerasan yang rendah.

Langkah pengujian kekerasan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Meratakan permukaan sampel yang akan diuji dengan menggunakan *grinding* menggunakan kertas amplas dengan grid 500, 1000, 1500, dan 2000.
- 2) Sampel diletakkan pada *holder* khusus untuk menjepit sampel uji *hardness* dengan ukuran kecil
- 3) Pada mesin uji dipilih indenter bola pejal untuk uji kekerasan dengan skala Rockwell F. Kemudian melakukan pengaturan beban yang akan diberikan saat indentasi



Tabel 3.1 Besar Beban Utama dan Jenis Indentor untuk metode Rockwell (ASM Vol 8)

Skala	Beban Utama (Kgf)	Indentor	Aplikasi
A	60	<i>Brale</i>	<i>Cemented carbides, thin steel</i>
B	100	1/16" bola	Paduan tembaga, <i>soft steels</i>
C	150	<i>Brale</i>	Baja, <i>hard cast iron</i>
D	100	<i>Brale</i>	<i>Thin steel</i>
F	60	1/16" bola	Besi tuang, Aluminium
G	150	1/16" bola	<i>Malleable iron, phospor bronze</i>

5. Pengujian Tekan

Pengujian tekan merupakan pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan sifat mekanik, pengujian ini dilakukan sebagai alternatif dari uji tarik. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan beban untuk penekanan pada sampel hingga terjadi *fracture* pada material. Hasil dari pengujian tekan adalah didapatkan grafik tegangan dan regangan material yang diuji. Berdasarkan grafik tersebut dapat didapatkan sifat mekanik meliputi kekuatan tekan (ASM Metals Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation, 2000).

Langkah pengujian tekan yang dilakukan sebagai berikut :

- 1) Melakukan preparasi spesimen sehingga permukaan sampel pada bagian atas dan bawah yang mendapatkan kontak dengan *punch* rata



- 2) Pengukuran dimensi sampel yaitu diameter dan tinggi dengan menggunakan jangka sorong untuk mendapatkan luas permukaan yang dikenai beban.
- 3) Meletakkan sampel pada *punch* dengan posisi *punch* atas hampir menyentuh sampel
- 4) Memilih laju beban pada mesin uji kemudian memberikan beban secara kontinu dengan kenaikan beban laju pembebanan tertentu.
- 5) Mengamati defleksi yang terjadi pada sampel
- 6) Menghentikan pengujian ketika sampel telah terjadi deformasi plastis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Proses Pembuatan Komposit Cu-Sn

Proses pembuatan komposit Cu-Sn dilakukan dengan metode metalurgi serbuk. Komposit Cu-Sn dibentuk menjadi pelet dengan ukuran 1x1 cm. Dies pelet dibuat dari material AISI 4340 berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 10 cm dengan punch dari baja AISI 1045 (ST 60).



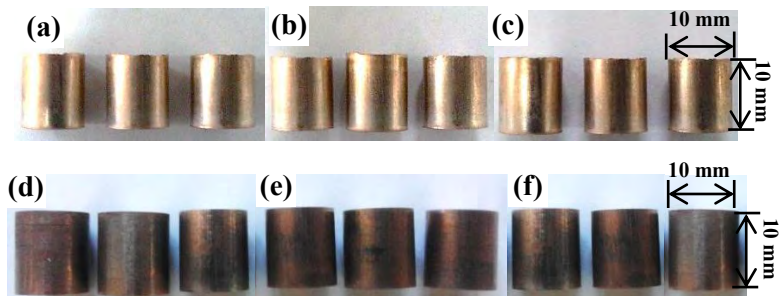
Gambar 4.1 (a) Serbuk tembaga; (b) serbuk timah;
(c) serbuk Cu-Sn

Serbuk Cu (tembaga) bertindak sebagai matriks dan serbuk Sn (timah) sebagai pengikat (*reinforced*). Secara fisik, serbuk tembaga berwarna kemerahan, serbuk timah berwarna abu-abu dan setelah dilakukan proses pencampuran serbuk Cu-Sn menjadi berwarna merah kecoklatan seperti pada Gambar 4.1. Perbandingan komposisi berat material yang digunakan untuk komposit Cu-Sn adalah Cu-10%wtSn dari berat total komposit yaitu 6,8 gram dan 0,76 gram. Massa *lubricant zinc stearate* yang dicampur pada setiap sampel adalah 0,038 gram.

Proses selanjutnya yang dilakukan adalah pencampuran serbuk Cu dan Sn. Proses pencampuran dilakukan dengan menggunakan *hot plate magnetic stirrer* temperatur 90°C dengan kecepatan 350 rpm. Proses pencampuran dilakukan dengan



menambahkan pelarut polar *ethanol* 96%, hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya oksidasi. Proses pencampuran dilakukan dengan 3 variasi waktu, 30, 60, dan 90 menit hingga kedua serbuk tercampur merata. Setelah proses pencampuran dilakukan proses kompaksi dengan tekanan 600 MPa selama 5 menit. Sebelum serbuk komposit Cu-Sn dimasukkan ke dalam dies, permukaan dies bagian dalam ditaburi dengan *lubricant zinc stearate* dalam jumlah yang sedikit untuk memudahkan pengambilan pelet setelah dikompaksi. Metode yang dilakukan dengan mengoleskan serbuk *zinc stearate* pada dinding bagian dalam cetakan disebut *die wall lubricating*. Spesimen diuji densitas dengan prinsip hukum Archimedes untuk mendapatkan densitas *green*. Proses selanjutnya adalah sintering dengan 3 variasi temperatur, 200, 300, 400°C dengan waktu tahan 30 menit dan diberi aliran gas nitrogen menggunakan *horizontal furnace*. Setelah dilakukan proses sintering dilakukan pengujian sampel meliputi pengujian densitas, kekerasan, XRD, kuat tekan, dan SEM-EDX. Untuk sampel pengujian ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Komposit Cu-10%wtSn berbentuk pelet sebelum sintering dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit dan setelah disintering dengan waktu pencampuran (d) 30 menit; (e) 60 menit; (f) 90 menit

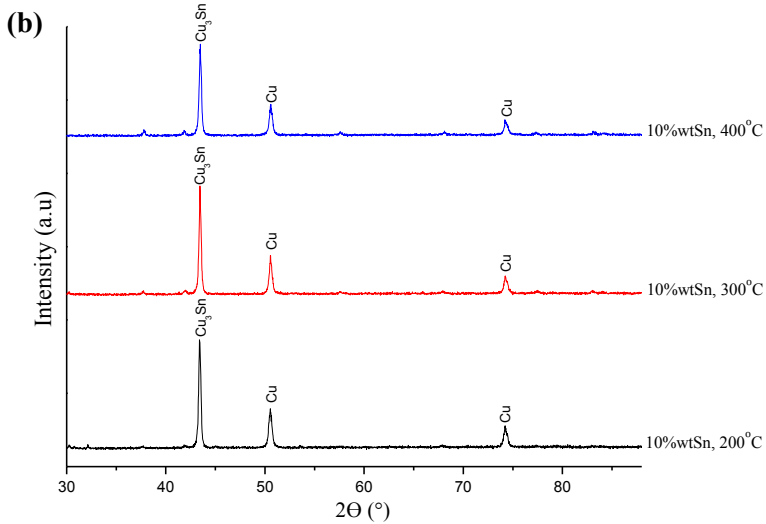
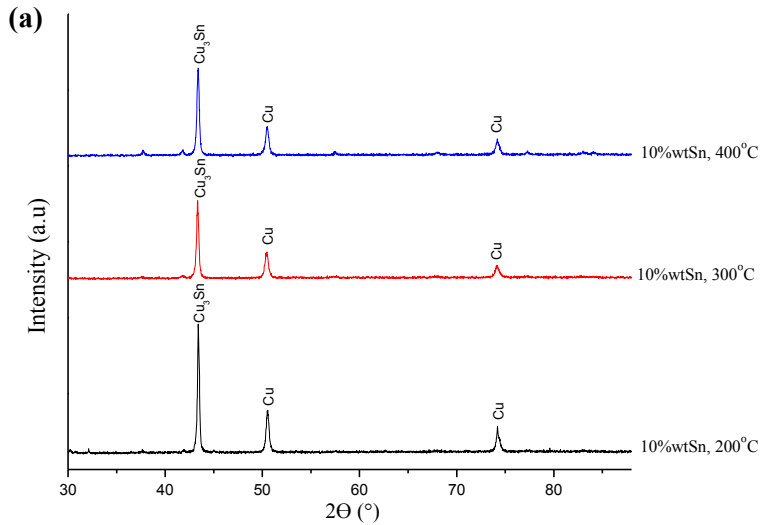


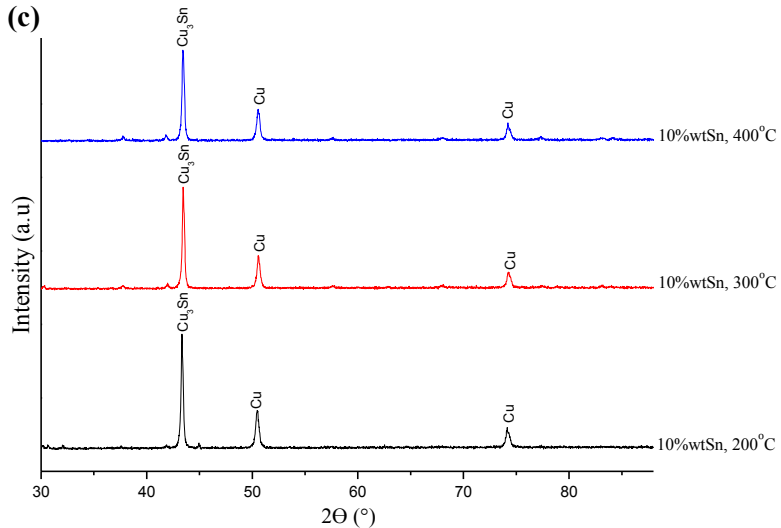
Dari Gambar 4.2 di atas menunjukkan warna berbeda antara sampel komposit Cu-10%wtSn sebelum sintering dan setelah sintering. Sampel sebelum sintering berwarna kuning keemasan dan masih terlihat warna putih di bagian bawah yang menandakan adanya serbuk *zinc stearate* yang menempel dan sampel setelah sintering berwarna coklat kehitaman. Sampel sebelum sintering berwarna kuning keemasan dan masih terdapat *zinc stearate* yang menempel karena proses kompaksi dilakukan dalam kondisi temperatur kamar. Sedangkan sampel setelah sintering berwarna coklat kehitaman karena proses pemanasan yang dilakukan pada ruangan vakum dengan dialiri gas nitrogen sehingga perubahan warna terjadi dan serbuk *zinc stearate* yang menempel pada sampel telah menguap karena titik leleh dari *zinc stearate* adalah temperatur 131°C.

Pada kondisi yang sama yaitu sebelum sintering, semua sampel komposit Cu-10%wtSn dari sampel dengan variasi waktu pencampuran 30, 60 dan 90 menit memiliki warna yang sama yaitu kuning keemasan dan terdapat *zinc stearate* yang masih menempel. Selanjutnya, pada sampel setelah sintering pun demikian, semua sampel komposit Cu-10%wtSn dengan variasi waktu pencampuran 30, 60 dan 90 menit memiliki warna yang sama yaitu coklat kehitaman.

4.1.2 Hasil Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui perbedaan komposisi dan fasa yang terbentuk. Pengujian ini dilakukan pada sampel setelah sintering. Gambar 4.3 menunjukkan perbedaan dari pengaruh temperatur sintering terhadap komposisi fasa yang terbentuk.





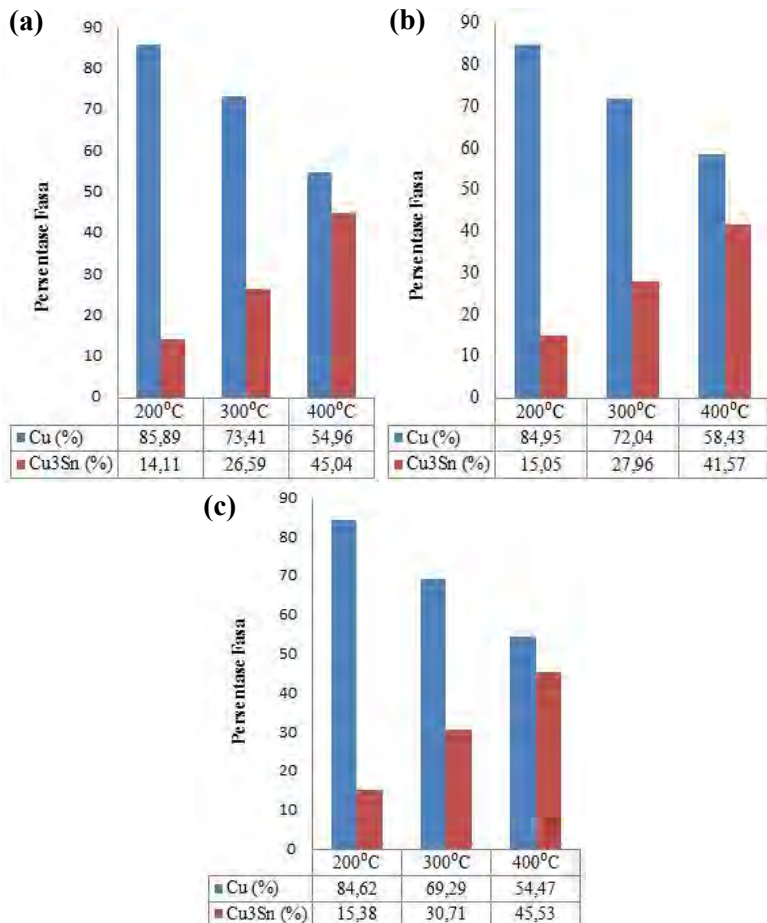
Gambar 4.3 Hasil XRD komposit Cu-Sn pada temperatur 200, 300, 400°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit

Pada Gambar 4.3 didapatkan puncak tertinggi dari masing-masing temperatur 200, 300, dan 400°C terbentuk pada posisi 43,4; 50,5 dan 74,2° dimana pada puncak 43,4° teridentifikasi sebagai fasa Cu_3Sn , sedangkan pada 50,5 dan 74,2° teridentifikasi sebagai fasa Cu. Hal tersebut didapatkan dari pencocokan yang dilakukan dengan menggunakan ICDD card 01-085-1326 dan 03-065-4653.

Dari hasil identifikasi di atas dinyatakan bahwa pada temperatur sintering 200, 300, 400°C telah terbentuk fasa Cu_3Sn dan masih terdapat fasa Cu. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wu (2012) pada temperatur 201°C akan terbentuk fasa $\epsilon\text{-Cu}_3\text{Sn}$ dan masih terdapat fasa Cu dalam komposit Cu-10%wtSn disebabkan material awal yang digunakan berupa serbuk dengan perbandingan berat campuran serbuk antara Cu dan Sn adalah 9:1



sehingga selain terbentuk fasa Cu_3Sn masih terdapat fasa Cu dalam komposit tersebut.



Gambar 4.4 Persentase fasa pada komposit Cu-10%wtSn dari temperatur sintering 200, 300, dan 400°C pada variasi waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit



Komposisi fasa yang terbentuk dalam komposit Cu-10%wtSn diketahui melalui analisis rietveld menggunakan perangkat lunak *Rietica*. Hasil perhitungan komposisi fasa dalam bentuk persentase berat dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Pada Gambar 4.4 menunjukkan komposisi fasa yang terbentuk akibat pengaruh waktu pencampuran dan temperatur sintering. Dari gambar tersebut diketahui ada dua fasa yang memiliki komposisi besar yaitu fasa Cu dan fasa Cu_3Sn . Gambar 4.4 (a) diketahui persentase fasa Cu sebesar 85,89% pada waktu pencampuran 30 menit dengan temperatur sintering 200°C dan menjadi komposisi fasa Cu yang terbanyak dibanding pada waktu pencampuran 60 menit yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (b) dan 90 menit yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 (c). Pada waktu pencampuran 30 menit dengan temperatur sintering 300°C ditemukan fasa Cu sebesar 73% dan seiring meningkatnya waktu pencampuran seperti pada waktu pencampuran 60 dan 90 menit, fasa Cu yang ada semakin berkurang sedangkan fasa Cu_3Sn yang terbentuk semakin meningkat. Pada setiap variasi waktu pencampuran di temperatur sintering 400°C , fasa Cu yang tersisa semakin sedikit dan seiring meningkatnya waktu pencampuran fasa Cu semakin menurun sedangkan fasa Cu_3Sn semakin meningkat. Hal tersebut terjadi disebabkan distribusi dari serbuk Cu dan Sn semakin merata seiring lamanya waktu pencampuran sehingga proses difusi Cu ke cairan Sn menjadi lebih cepat.

Berdasarkan hasil analisa kuantitatif tersebut, semakin meningkat temperatur sintering dari beberapa variasi waktu pencampuran diikuti dengan semakin meningkatnya fasa intermetalik Cu_3Sn . Hal ini sesuai dengan penelitian Anugraha (2014) yang menyatakan bahwa semakin meningkatnya temperatur diikuti meningkatnya persentase fasa intermetalik.

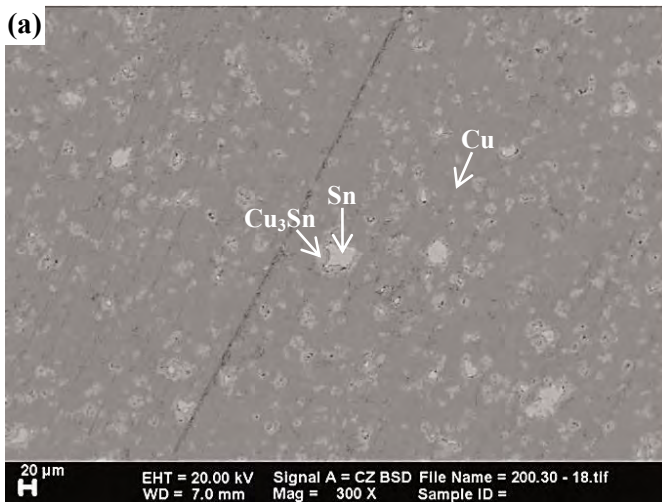
4.1.3 Hasil Pengujian SEM-EDX

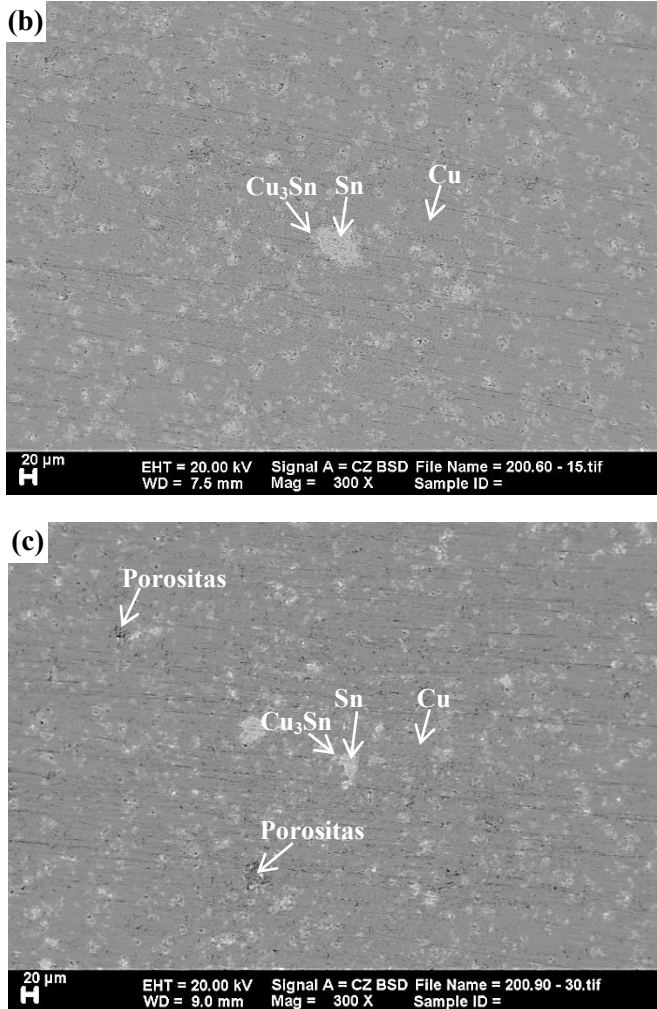
Pengujian SEM terhadap sampel dilakukan untuk mengetahui morfologi dan bagaimana pengaruh waktu



pencampuran serta temperatur sintering terhadap distribusi fasa yang terbentuk. Untuk mengetahui lebih detail pada fasa yang terbentuk dilakukan dengan analisa menggunakan detektor *backscatter electron* (BSE). Detektor BSE memiliki kemampuan membedakan fasa yang terdapat dalam sampel melalui perbedaan intensitas warna.

Identifikasi fasa yang terbentuk pada sampel komposit Cu-10%wtSn mengacu pada Gambar 2.9. Pada gambar tersebut terlihat gradasi warna dari hasil gambar SEM-BSE Cu-Sn dimana warna abu-abu gelap adalah Cu, warna abu-abu kurang terang adalah Cu_3Sn , warna abu-abu terang adalah Sn, dan warna hitam adalah porositas. Maka berdasarkan hal tersebut dapat dilakukan identifikasi fasa dari hasil gambar SEM-BSE komposit Cu-10%wtSn.

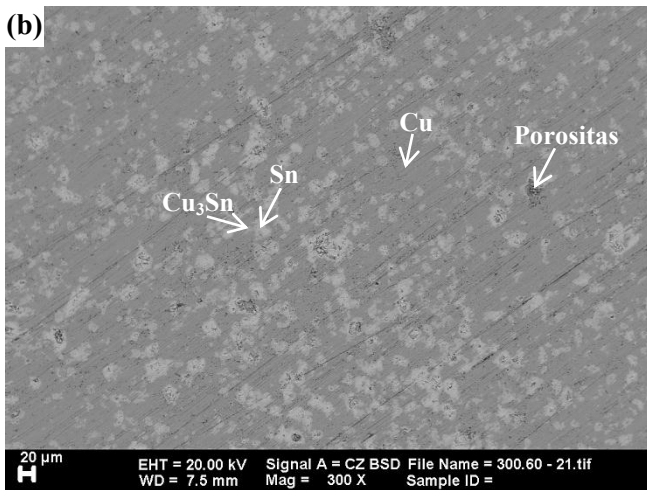
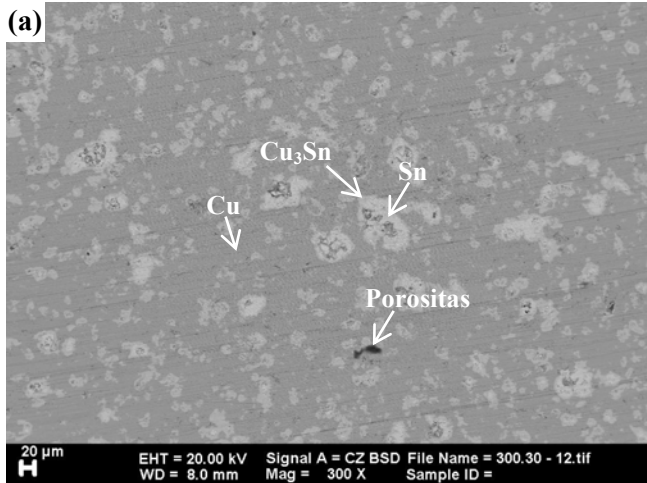


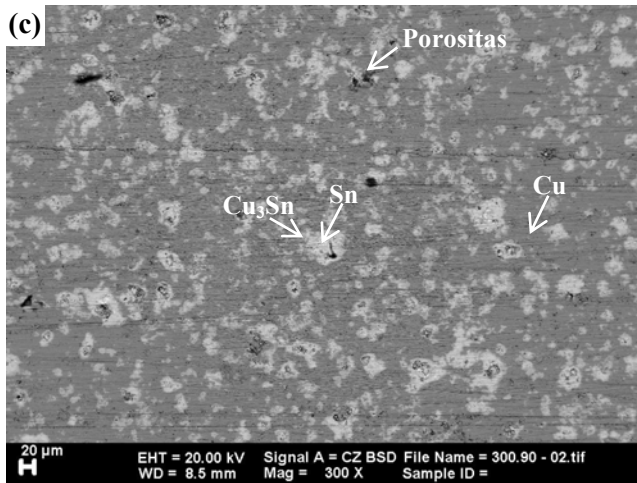


Gambar 4.5 Distribusi fasa Cu dan Cu_3Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 200°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit



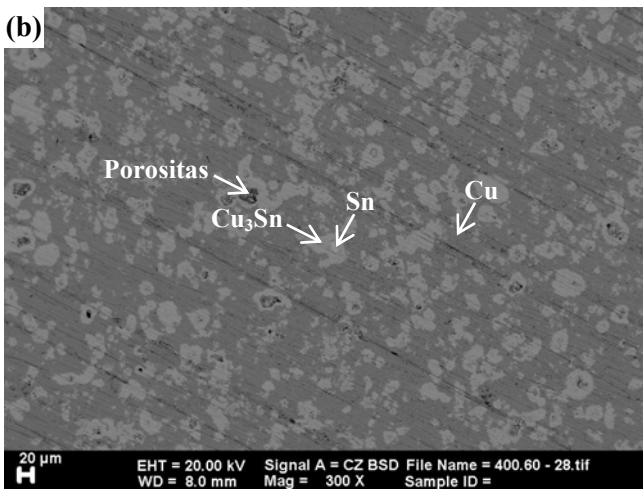
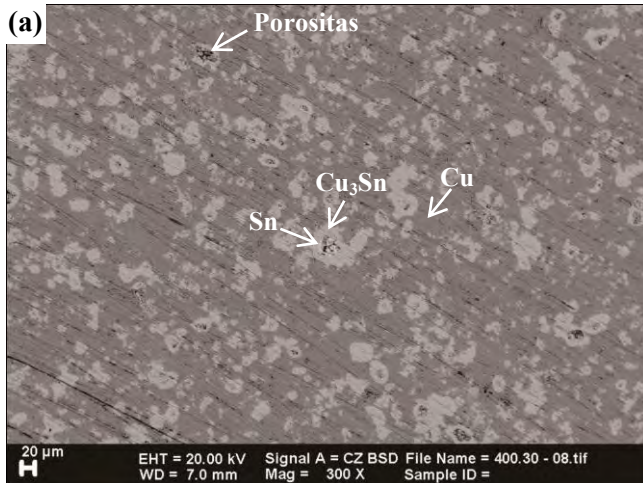
Perbesaran yang digunakan pada Gambar 4.5 adalah 300x. Dari gambar tersebut terlihat distribusi fasa pada komposit Cu-10%wtSn semakin merata seiring meningkatnya waktu pencampuran. Gambar 4.5 (a) terlihat adanya gradasi warna yaitu abu-abu gelap yang diindikasikan sebagai matriks Cu dan abu-abu terang diindikasikan sebagai fasa Sn serta lapisan tipis disekeliling fasa Sn yang berwarna abu-abu kurang terang yang diindikasikan sebagai fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn) dan pada gambar tersebut nampak daerah yang berwarna abu-abu gelap lebih dominan dibanding daerah abu-abu terang dan abu-abu kurang terang. Berbeda dengan dua gambar di bawahnya dimana daerah warna abu-abu terang dan abu-abu kurang terang berada pada berbagai tempat dalam sampel komposit ini. Pada Gambar 4.5 (b) nampak morfologi sampel terdapat fasa Cu, fasa Cu_3Sn , dan fasa Sn. Sedangkan pada Gambar 4.5 (c) terlihat adanya 4 warna yang berbeda yang membuktikan bahwa terdapat fasa Cu yang diketahui dengan daerah berwarna abu-abu gelap, fasa Cu_3Sn yang diketahui dengan daerah berwarna abu-abu kurang terang, fasa Sn yang diketahui dengan daerah berwarna abu-abu terang, dan porositas yang diketahui dengan daerah berwarna hitam. Porositas terbentuk karena *lubricant* yang menguap akibat proses sintering. Ibrahim (2009) menyatakan bahwa *lubricant* menginisiasi terbentuknya porositas karena *lubricant* menguap ketika dilakukan proses sintering. Dibandingkan dengan Gambar 4.5 (a) dan (b), porositas hanya terbentuk pada Gambar 4.5 (c). Hal tersebut terjadi karena distribusi dari serbuk Cu, Sn dan *lubricant zinc stearate* semakin tersebar merata seiring meningkatnya waktu pencampuran.

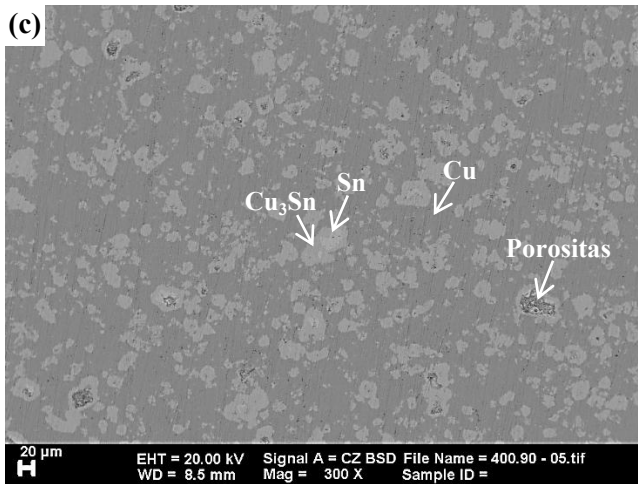




Gambar 4.6 Distribusi fasa Cu dan Cu_3Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 300°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit

Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa terjadi distribusi fasa yang semakin merata seiring bertambahnya waktu pencampuran. Pada Gambar 4.6 di atas terlihat adanya gradasi warna mulai dari warna abu-abu gelap, abu-abu kurang terang, abu-abu terang dan hitam. Pada Gambar 4.6 (a) terlihat daerah dengan warna abu-abu terang yang diindikasikan sebagai fasa Sn memiliki daerah yang cukup luas dan beberapa daerah yang berwarna hitam yang diindikasikan sebagai porositas serta terdapat daerah dengan warna abu-abu gelap yang diindikasikan sebagai fasa Cu. Pada Gambar 4.6 (b) distribusi fasa Cu, fasa Cu_3Sn , dan fasa Sn lebih merata yang dibuktikan dengan adanya gradasi warna abu-abu gelap, abu-abu kurang terang dan abu-abu terang yang tersebar dan membentuk daerah yang berukuran tidak jauh berbeda. Pada Gambar 4.6 (c) terlihat lebih banyak banyak porositas yang terbentuk dibandingkan pada Gambar 4.6 (a) dan (b).





Gambar 4.7 Distribusi fasa Cu dan Cu_3Sn komposit Cu-10%wtSn pada temperatur 400°C dengan waktu pencampuran (a) 30 menit; (b) 60 menit; (c) 90 menit

Pada Gambar 4.7 terlihat distribusi fasa pada komposit Cu-10%wtSn semakin merata seiring meningkatnya waktu pencampuran. Gambar 4.7 (a) terlihat adanya gradasi warna pada sampel yaitu abu-abu gelap, abu-abu kurang terang, abu-abu terang, dan hitam yang diindikasikan bahwa abu-abu gelap adalah fasa Cu, abu-abu kurang terang adalah fasa Cu_3Sn , abu-abu terang adalah fasa Sn, dan hitam adalah porositas. Dari ketiga gambar di atas dapat dilihat bahwa fasa Cu_3Sn memiliki lapisan yang tebal yang ditunjukkan oleh daerah berwarna abu-abu kurang terang. Hal ini karena semakin meningkatnya temperatur sintering diikuti oleh meningkatnya fasa intermetalik (Anugraha, 2014).

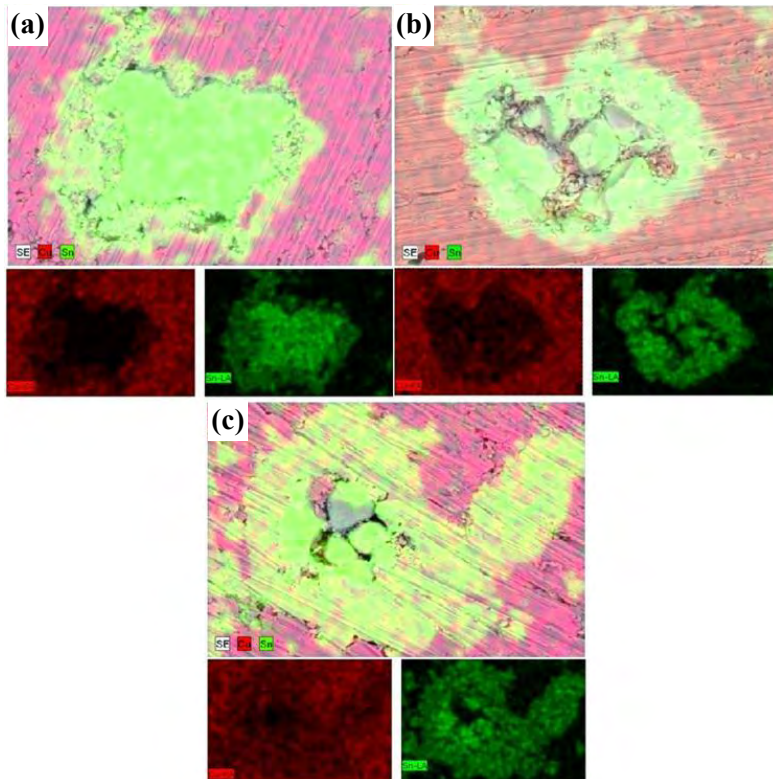
Pada Gambar 4.7 (b) terlihat daerah yang berwarna hitam yang diindikasikan sebagai porositas lebih banyak dibanding Gambar 4.7 (a) dan pada Gambar 4.7 (c) terlihat daerah yang berwarna hitam memiliki daerah yang luas. Hal tersebut terjadi karena



lubricant menyebar secara merata seiring meningkatnya waktu pencampuran sehingga serbuk *lubricant* berada di berbagai tempat dalam komposit, selanjutnya ketika dilakukan proses sintering *lubricant* menguap membentuk porositas.

Berdasarkan Gambar 4.7 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya waktu pencampuran maka semakin meningkatkan komposisi fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn) dan semakin meningkatnya waktu pencampuran pada temperatur yang sama mengakibatkan jumlah porositas yang semakin banyak.

Mekanisme pembentukan fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn) adalah mekanisme difusi atom. Untuk mengetahui lebih jelas mengenai proses difusi antara Cu dan Sn ditampilkan Gambar 4.8 yang merupakan hasil mapping unsur.



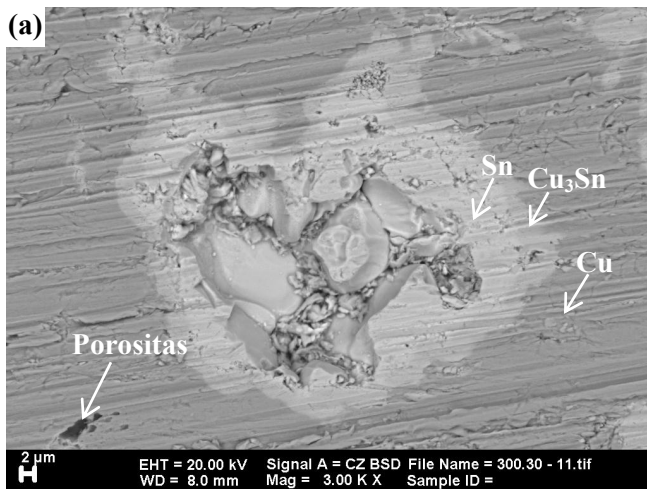
Gambar 4.8 Analisa mapping komposit Cu-10%wtSn pada waktu pencampuran 30 menit dengan variasi temperatur sintering (a) 200°C; (b) 300°C; (c) 400°C

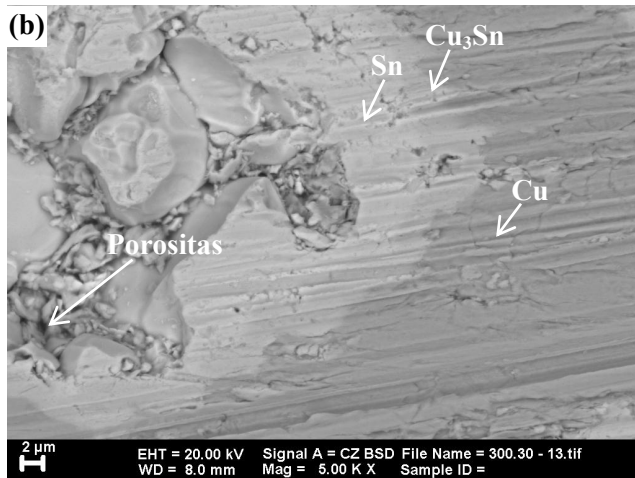
Pada Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh waktu pencampuran dan temperatur sintering terhadap proses difusi Cu ke cairan Sn. Dilakukan pemberian warna yang berbeda untuk setiap unsur dimana warna merah merupakan unsur Cu dan warna hijau merupakan unsur Sn. Pada waktu pencampuran 30 menit dan temperatur sintering 200°C terlihat unsur Cu mulai berdifusi



ke daerah Sn. Sedangkan pada temperatur sintering 300°C mulai terlihat unsur Cu berdifusi daerah Sn yang lebih banyak dan terdapat porositas yang ditandai dengan daerah yang berwarna hitam. Pada temperatur sintering 400°C, unsur Cu berdifusi ke daerah Sn semakin banyak. Proses difusi antara Cu dan Sn menghasilkan fasa baru yaitu fasa intermetalik. Hal ini sesuai dengan teori yang ada yaitu ketika partikel Sn meleleh, secara bertahap partikel Cu menyebar pada cairan Sn membentuk senyawa intermetalik (Mishra, 2013).

Untuk mempelajari dan memastikan lebih lanjut mengenai stukturmikro pada komposit Cu-10%wtSn dapat dilakukan proses etsa sebelum pengujian SEM. Pada Gambar 4.9 merupakan hasil etsa komposit Cu-10%wtSn temperatur 300°C.





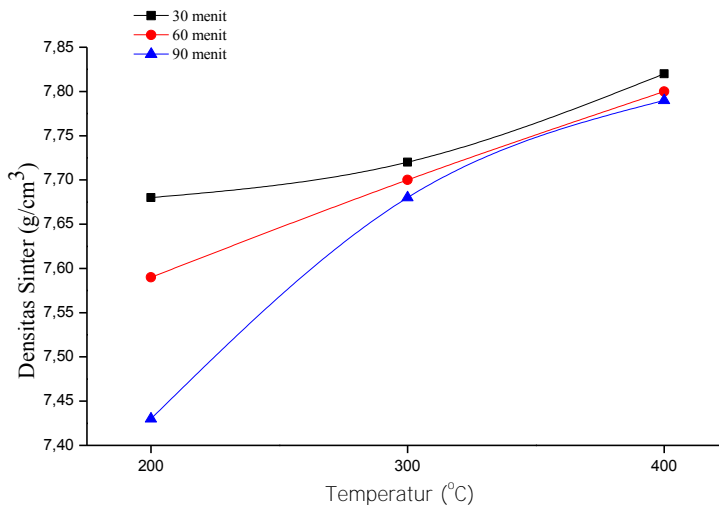
Gambar 4.9 Mikrostruktur etsa komposit Cu-10%wtSn temperatur 300°C a) perbesaran 3000x; b) perbesaran 5000x, kontras warna abu-abu gelap (Cu), warna abu-abu kurang terang (Cu_3Sn) dan warna abu-abu terang (Sn)

Pada Gambar 4.9 merupakan hasil gambar SEM-BSE pada sampel uji yang telah dietsa komposit Cu-10%wtSn temperatur 300°C dengan waktu pencampuran 30 menit. Proses etsa dengan menggunakan komposisi larutan 3 g FeCl_3 , 50 ml aquades, 25 ml HCl, dan 100 ml ethanol. Proses etsa dilakukan untuk memberikan hasil SEM yang jelas terhadap bentuk dan kontras warna dari masing-masing fasa yang terbentuk. Warna abu-abu gelap diidentifikasi sebagai fasa Cu, warna abu-abu kurang terang dengan bentuk pipih halus diidentifikasi sebagai fasa Cu_3Sn , dan abu-abu terang diidentifikasi sebagai fasa Sn serta bagian berongga yang diidentifikasi sebagai porositas. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Banovic (2007) mengenai strukturmikro sampel Cu-Sn yang telah dietsa dengan pengujian SEM-BSE terlihat bahwa ada fasa intermetalik dan porositas terdistribusi heterogen, dan fasa Cu.



4.1.4 Hasil Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dari sampel uji. Densitas merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan peluru *frangible*. Densitas dibedakan menjadi dua yaitu densitas *green* dan densitas sinter. Densitas *green* adalah densitas yang didapatkan setelah proses kompaksi, sedangkan densitas sinter adalah densitas yang didapatkan setelah proses sintering. Pada proses pengukuran densitas *green* dan densitas sinter digunakan prinsip Archimedes.



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara temperatur sintering dengan densitas sinter

Pada Gambar 4.10 di atas menampilkan grafik mengenai hubungan temperatur sintering dengan densitas sinter. Terlihat bahwa semakin meningkatnya temperatur sintering semakin meningkat densitas sinter komposit Cu-10%wtSn. Peningkatan densitas tentunya tidak terlepas dari pengaruh temperatur sintering. Hasil yang didapatkan ini pun sejalan dengan teori yaitu

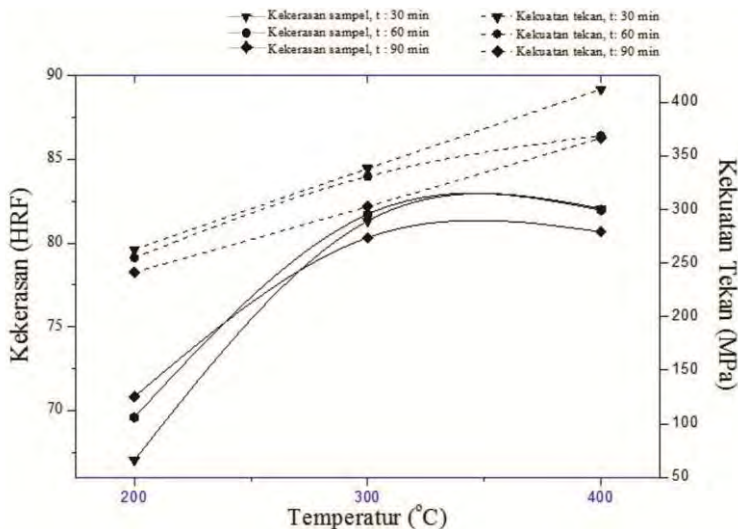


semakin tinggi temperatur sintering mengakibatkan energi aktivasi semakin meningkat, sehingga gaya pendorong (*driving force*) pertumbuhan butir semakin besar (German, 1996).

Namun, untuk setiap sampel dengan variasi waktu pencampuran 30, 60, dan 90 menit memiliki densitas sinter yang berbeda. Pada temperatur sintering yang sama, semakin meningkatnya waktu pencampuran semakin menurun densitas sinter. Penurunan densitas ini dipengaruhi oleh distribusi fasa intermetalik dan porositas yang terbentuk pada sampel komposit Cu-10%wtSn.

4.1.5 Hasil Pengujian Mekanik

Pada penelitian ini, sifat mekanik yang dianalisis adalah kekerasan dan kekuatan tekan spesimen pascasintering. Pengujian kekerasan dan tekan ini erat kaitannya dengan kinerja sebuah peluru.



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara temperatur sintering dengan kekuatan tekan dan kekerasan spesimen



Pada Gambar 4.11 tampak hubungan antara temperatur sintering spesimen dengan kekuatan tekan dan kekerasan spesimen. Dari grafik di atas terlihat bahwa nilai kekuatan tekan semua spesimen mengalami peningkatan, namun peningkatan nilai kekuatan tekan dan kekerasan pada setiap variasi waktu pencampuran berbeda.

Nilai kekuatan tekan spesimen dengan waktu pencampuran 30 menit memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding dengan nilai kekuatan tekan spesimen dengan waktu pencampuran 60 dan 90 menit. Sedangkan nilai kekerasan spesimen cenderung meningkat seiring meningkatnya temperatur sintering. Nilai kekerasan spesimen dengan waktu pencampuran 30 menit meningkatkan secara signifikan dibanding dengan nilai kekerasan spesimen dengan waktu pencampuran 60 dan 90 menit.

Dari pengujian kekerasan, diperoleh nilai minimum pada variabel waktu pencampuran 30, 60, 90 menit dan temperatur sintering 200 °C berturut-turut sebesar 67,03; 69,59; 70,82 HRF. Sedangkan nilai kekerasan maksimum yang dicapai pada variabel waktu pencampuran 30, 60, 90 menit dan temperatur sintering 400 °C berturut-turut sebesar 82,05; 81,97; 80,67 HRF. Secara umum, nilai kekerasan seluruh spesimen berada dalam rentang nilai kekerasan proyektil *frangible* yang disyaratkan oleh Kruachatturat (2009) sebesar 54 – 119 HV, dimana nilai 54 HV setara dengan 56,5 HRF dan 119 HV setara dengan 95,1 HRF.

Pada uji kekuatan tekan, nilai terendah diperoleh pada variabel waktu pencampuran 90 menit dan temperatur sintering 200°C sebesar 241,62 MPa. Nilai tertinggi diperoleh pada variabel waktu pencampuran 30 menit dan temperatur sintering 400°C sebesar 412,31 MPa. Menurut Kruachatturat (2009) menyatakan bahwa rentang nilai kekuatan tekan untuk proyektil *frangible* adalah 31-310 MPa. Maka, spesimen yang berada dalam rentang nilai kekuatan tekan untuk proyektil *frangible* adalah spesimen pada variabel temperatur 200°C dengan waktu pencampuran 30, 60, 90 menit serta spesimen pada variabel temperatur 300°C dengan waktu pencampuran 90 menit.



Peningkatan nilai kekerasan dan kekuatan tekan dipengaruhi oleh jumlah fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn). Menurut Banovic (2007) menyatakan bahwa fasa intermetalik memberikan sifat *brittle* pada peluru *frangible* Cu-Sn. Selain itu, Anugraha (2014) menyatakan bahwa peningkatan nilai sifat mekanik dipengaruhi oleh peningkatan densitas dan penurunan jumlah porositas pada komposit Cu-Sn sehingga apabila jumlah porositas tinggi akan menyebabkan nilai kekerasan dan kekuatan tekan sampel menjadi rendah.

4.2 Pembahasan

Pembentukan fasa intermetalik dipengaruhi oleh waktu pencampuran dan temperatur sintering. Pada Gambar 4.5, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 terlihat bagaimana distribusi fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn), fasa Cu, fasa Sn, dan porositas. Fasa intermetalik terbentuk melalui mekanisme difusi yang terjadi pada tahap sintering. Difusi adalah fenomena perpindahan massa oleh pergerakan atom. Dalam sudut pandang atomik, difusi merupakan perpindahan atom dari satu kisi ke kisi lain (Callister, 2010). Mekanisme pertumbuhan fasa intermetalik ini terjadi karena telah terjadi difusi Cu ke dalam cairan Sn. Proses difusi ini terjadi pada mekanisme sintering yang disebut *liquid phase sintering*. Pada proses *liquid phase sintering* memiliki syarat bahwa salah satu material logam yang digunakan harus dapat mencair dan mampu membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan ataupun fasa cair logam mampu larut dalam fasa padat (German, 1984). Material yang digunakan pada penelitian ini terdapat dalam teori tersebut dimana unsur Sn mencair terlebih dahulu dibanding unsur Cu dan mampu membentuk lapisan disekeliling fasa padatan ataupun sebaliknya.

Pada Gambar 4.9 menunjukkan telah terjadi pertumbuhan fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn). Pertumbuhan ini ditandai dengan morfologi bentuk dimana bentuk dari fasa Cu_3Sn menyerupai hasil penelitian Banovic (2007). Pertumbuhan fasa intermetalik



Cu_3Sn dan Cu_6Sn_5 terbentuk pada temperatur 200 – 400°C. Hal ini sesuai dengan pernyataan yang dikemukakan Banovic (2007) dimana proses *heat treatment* dilakukan pada temperatur 232 - 415°C terbentuk fasa intermetalik (fasa Cu_3Sn), fasa Cu, fasa Sn, dan terdapat porositas.

Analisa kuantitatif dilakukan dengan menggunakan analisis rietveld yang bertujuan untuk mengetahui komposisi fasa yang terbentuk pada setiap variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering komposit Cu-10%wtSn. Hasil analisa tersebut dalam bentuk persentase berat fasa. Pada temperatur sintering 200°C, ketika waktu pencampuran 30 menit pada dihasilkan 85,89%wt Cu dan 14,11%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 60 menit dihasilkan 84,95%wt Cu dan 15,05%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 90 menit dihasilkan 84,62%wt Cu dan 15,38%wt Cu_3Sn . Pada temperatur sintering 300°C, ketika waktu pencampuran 30 menit pada dihasilkan 73,41%wt Cu dan 26,59%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 60 menit dihasilkan 72,04%wt Cu dan 27,96%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 90 menit dihasilkan 69,29%wt Cu dan 30,71%wt Cu_3Sn . Selanjutnya, pada temperatur sintering 400°C, ketika waktu pencampuran 30 menit pada dihasilkan 54,96%wt Cu dan 45,04%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 60 menit dihasilkan 58,43%wt Cu dan 41,57%wt Cu_3Sn , pada waktu pencampuran 90 menit dihasilkan 54,47%wt Cu dan 45,53%wt Cu_3Sn .

Berdasarkan analisa kuantitatif tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya waktu pencampuran dan temperatur sintering diikuti oleh peningkatan fasa intermetalik. Pembentukan fasa intermetalik melalui mekanisme difusi. Difusivitas dipengaruhi oleh komposisi dan temperatur dimana semakin meningkatnya temperatur maka kecepatan difusi Cu ke Sn akan semakin meningkat sehingga terbentuk fasa baru lebih banyak. Dimana temperatur berperan sebagai *driving force*, semakin meningkatnya temperatur akan meningkatkan *driving*



force sehingga daya dorong yang dihasilkan akan semakin tinggi dan mempercepat laju difusi (German, 1996).

Semakin meningkat waktu pencampuran menyebabkan distribusi fasa dan porositas yang terbentuk semakin merata. Dimana proses pencampuran komposit C-10%wtSn berasal dari serbuk Cu, Sn, dan *lubricant* (*zinc stearat*). Ketika waktu pencampuran 30 menit distribusi dari ketiga serbuk tidak begitu merata sehingga pembentukan fasa intermetalik dan porositas tidak sebanyak pada waktu pencampuran 60 menit dan 90 menit. Oleh karena itu, semakin meningkatnya waktu pencampuran semakin meningkatkan jumlah porositas dalam komposit Cu-10%wtSn.

Untuk mempelajari bagaimana sifat fisik dan mekanik dari komposit Cu-10%wtSn dengan variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering dilakukan uji densitas, uji kekerasan dan uji tekan. Pada Gambar 4.10 menunjukkan peningkatan densitas sinter pada setiap variasi waktu pencampuran seiring meningkatnya temperatur. Namun, jika dilakukan perbandingan antara densitas sinter sampel dengan waktu pencampuran 30 menit, 60 menit, dan 90 menit pada temperatur sintering yang sama dapat dilihat bahwa terjadi penurunan densitas sinter. Hal ini dipengaruhi dari jumlah porositas yang semakin banyak seiring meningkatnya waktu pencampuran. Pada Gambar 4.11 merupakan grafik perbandingan nilai kekuatan tekan dan kekerasan terhadap temperatur sintering pada semua sampel komposit Cu-10%wtSn. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai dari kekuatan tekan dan kekerasan mengalami peningkatan, namun peningkatan nilai kekuatan tekan dan kekerasan pada setiap variasi waktu pencampuran berbeda. Peningkatan nilai kekuatan tekan dan kekerasan yang paling signifikan terjadi pada waktu pencampuran 30 menit. Jadi dari analisa data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin meningkatnya waktu pencampuran dan meningkatnya temperatur sintering diikuti oleh peningkatan fasa intermetalik



pada komposit Cu-10%wtSn. Namun, semakin meningkatnya waktu pencampuran di temperatur sintering yang sama diikuti oleh peningkatan jumlah porositas. Berkaitan dengan hal tersebut, semakin meningkatnya waktu pencampuran pada temperatur sintering yang sama diikuti oleh penurunan sifat mekanik. Namun, semakin meningkatnya temperatur sintering pada waktu pencampuran yang sama semakin meningkatkan sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A

Perhitungan Densitas Green dan Densitas Sinter

$$\rho_1 = \frac{m_1}{V_k}$$

$$\rho_2 = \frac{m_k}{V_k}$$

Dimana:

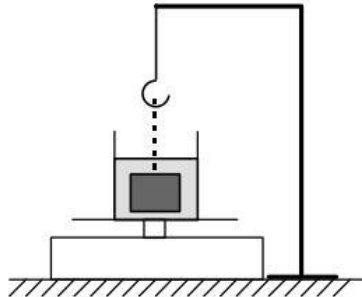
ρ_1 = densitas air(g/cm³)

V_k = Volume sampel (cm³)

ρ_2 = *green density* atau *sinter density*(g/cm³)

m_1 = massa sampel dalam air(g)

m_k = massa kering(g)



Gambar 1. Mekanisme pengukuran densitas green dan densitas sinter

Perhitungan Densitas dan Modulus Elastisitas Komposit Cu-Sn

Perhitungan densitas komposit dapat menggunakan persamaan *Rule of Mixture* (ROM) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\rho_c &= \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f \\ &= 8,96 \cdot 0,9 + 7,3 \cdot 0,1 \\ &= 8,064 + 0,73 \\ &= 8,794 \text{ g/cm}^3\end{aligned}$$

Lampiran B

Tabel B. Data densitas komposit Cu-10wt% Sn

Waktu Pencampuran (menit)	Temperatur (°C)	Densitas Green (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)	Densitas Sinter (g/cm ³)	Rata-rata (g/cm ³)	Persen Teoritis (%)
30	200	7,6662	7,636	7,684	7,6853	87,39
		7,6221		7,6485		
		7,6198		7,7235		
	300	7,7121	7,6747	7,7844	7,7154	87,73
		7,6747		7,6862		
		7,6374		7,6755		
	400	7,7691	7,8042	7,7729	7,8215	88,94
		7,8193		7,8399		
		7,8242		7,8518		
60	200	7,698	7,5711	7,7195	7,5997	86,42
		7,5485		7,5779		
		7,4667		7,5016		
	300	7,7115	7,6512	7,7165	7,7083	87,65
		7,6748		7,7121		
		7,5672		7,6962		
	400	7,9232	7,7324	7,8365	7,7899	88,58
		7,7477		7,8049		
		7,5263		7,7282		
90	200	7,2603	7,3995	7,2763	7,4339	84,53
		7,4835		7,5269		
		7,4547		7,4985		
	300	7,6485	7,5964	7,7095	7,6809	87,34
		7,6179		7,6873		
		7,5229		7,6461		
	400	7,6232	7,6333	7,7165	7,7866	88,54
		7,7503		7,8452		
		7,5264		7,7982		

Lampiran C

Tabel C. Hasil pengujian kekerasan komposit Cu-10 wt% Sn

Waktu Pencampuran (menit)	Temperatur (°C)	Indentasi			Rata-rata (HRF)
		1	2	3	
30	200	67	67	67	67,03
		69,5	68,5	70	
		65	64,5	65	
	300	80	80	81,5	81,32
		81	82,5	83,5	
		82	80	81,5	
	400	81	81,5	82	82,05
		81,5	82	82	
		82,5	82,5	83,5	
60	200	72,5	72	71	69,59
		67	67	67,5	
		69,5	69,5	70,5	
	300	80	80	81	81,27
		81,5	81,5	80,5	
		83	82	82	
	400	79	82,1	84	81,96
		80	83,5	86	
		80,5	81	81,5	
90	200	65	65	76,5	70,82
		70	70	70	
		73,5	73	75	
	300	82,5	82,5	82	80,32
		80	80,5	81	
		79	78,5	78	
	400	80,5	81	82	80,67
		78	78,5	78,5	
		82	82,5	83	

Lampiran D

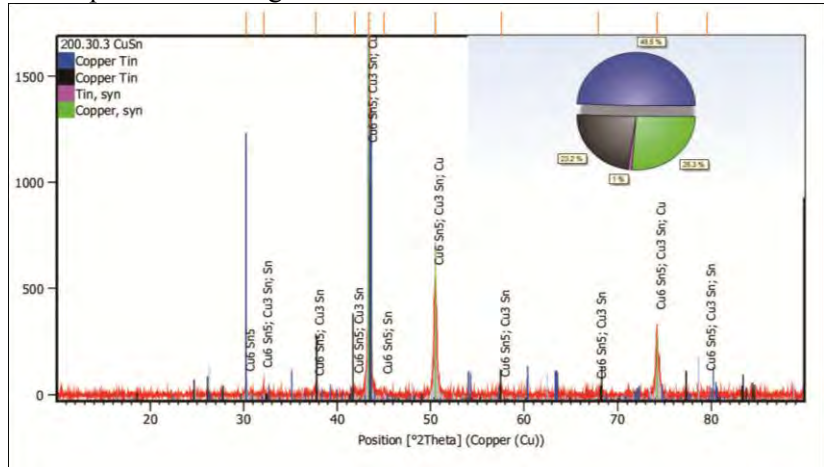
Tabel D. Hasil pengujian kekuatan tekan komposit Cu-10 wt% Sn

Waktu Pencampuran (menit)	Temperatur (°C)	Nomor	Kekuatan Tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
30	200	1	269,37	263
		2	256,44	
	300	1	344,37	338
		2	332,24	
	400	1	421,36	412
		2	403,26	
60	200	1	257,83	255
		2	252,26	
	300	1	332,63	331
		2	329,25	
	400	1	373,82	369
		2	364,27	
90	200	1	238,53	242
		2	244,7	
	300	1	304,19	303
		2	301,39	
	400	1	359,89	367
		2	373,42	

Lampiran E

Hasil Pengujian XRD Komposit Cu-10%wtSn waktu pencampuran 30 menit

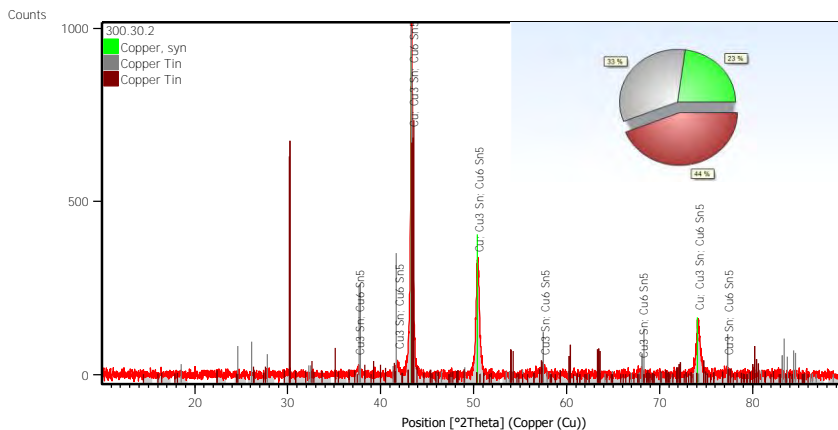
- temperatur sintering 200°C



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.2178	41.37	0.1574	2.95770	2.43
32.1133	59.34	0.0590	2.78732	3.49
37.6734	21.31	0.2362	2.38775	1.25
41.8930	27.98	0.3149	2.15649	1.64
43.3921	1702.23	0.1200	2.08367	100.00
43.5218	1050.71	0.0720	2.08293	61.73
45.0020	30.49	0.1920	2.01280	1.79
50.5171	544.56	0.2640	1.80523	31.99
57.5810	13.22	0.5760	1.59943	0.78
67.9089	10.48	1.1520	1.37915	0.62
74.2052	331.04	0.1440	1.27693	19.45
79.5893	45.26	0.0720	1.203 52	2.66

- Temperatur sintering 300°C



Peak List:

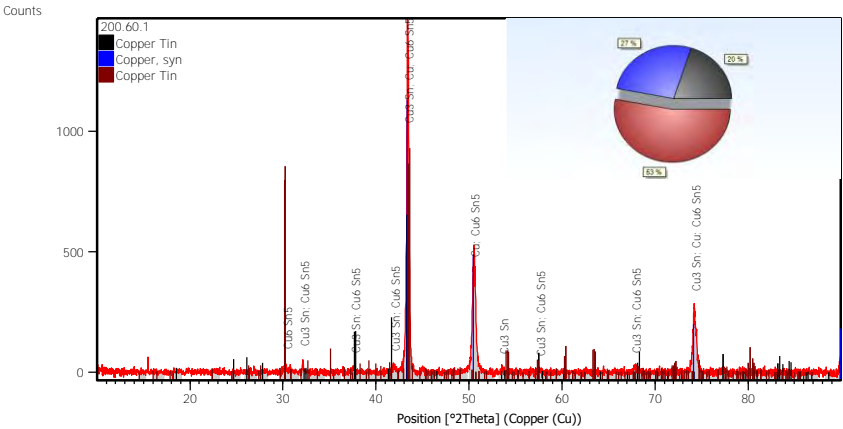
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.5254	14.96	0.3936	2.39683	1.44
41.7972	30.60	0.3149	2.16121	2.95
43.3445	1037.16	0.1574	2.08758	100.00
50.4189	309.66	0.3542	1.81001	29.86
57.5150	13.43	0.4723	1.60243	1.29
68.0728	11.96	0.9446	1.37736	1.15
74.1023	144.52	0.2755	1.27951	13.93
77.2280	12.40	0.4723	1.23534	1.20

-

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.7109	57.42	0.1574	2.38546	5.75
41.8160	50.94	0.1968	2.16028	5.11
43.4460	997.82	0.1968	2.08294	100.00
50.4761	355.65	0.3149	1.80810	35.64
57.5081	34.09	0.2362	1.60261	3.42
68.0644	29.44	0.2362	1.37751	2.95
74.1832	191.24	0.1574	1.27831	19.17
77.2512	32.18	0.2362	1.23502	3.22
80.6618	6.35	0.6298	1.19119	0.64
83.0136	35.66	0.2362	1.16331	3.57
84.1320	21.17	0.4723	1.15068	2.12

Hasil Pengujian XRD Komposit Cu-10%wtSn waktu pencampuran 60 menit

- Temperatur sintering 200°C

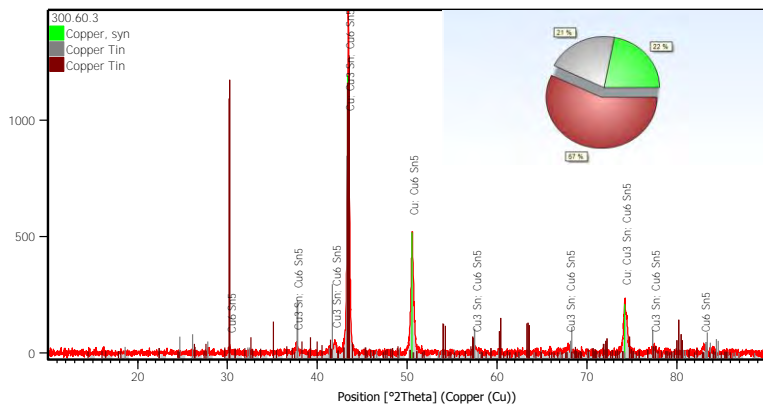


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.5254	14.96	0.3936	2.39683	1.44
41.7972	30.60	0.3149	2.16121	2.95
43.3445	1037.16	0.1574	2.08758	100.00
50.4189	309.66	0.3542	1.81001	29.86
57.5150	13.43	0.4723	1.60243	1.29
68.0728	11.96	0.9446	1.37736	1.15
74.1023	144.52	0.2755	1.27951	13.93
77.2280	12.40	0.4723	1.23534	1.20

- Temperatur sintering 300°C

Counts



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.2150	22.97	0.2362	2.95796	1.56
37.7063	35.27	0.1968	2.38574	2.40
41.9342	45.45	0.3936	2.15447	3.09
43.4428	1470.22	0.1574	2.08309	100.00
50.5660	528.30	0.0787	1.80510	35.93
57.5991	26.37	0.2362	1.60029	1.79
67.9722	26.28	0.3149	1.37916	1.79
74.2210	230.66	0.1181	1.27775	15.69
77.4505	25.52	0.2362	1.23234	1.74
82.9922	26.47	0.2362	1.16356	1.80

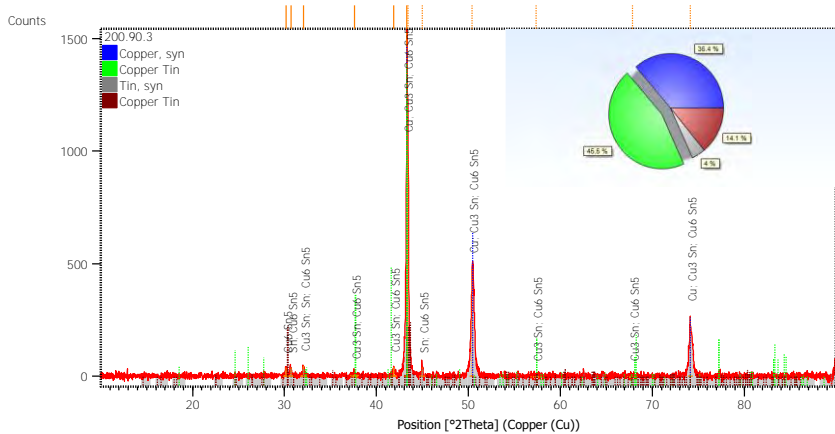
- Counts



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.8409	55.64	0.1574	2.37756	4.99
41.8597	63.43	0.1968	2.15813	5.69
43.4637	1114.11	0.1968	2.08213	100.00
50.5863	417.56	0.1181	1.80442	37.48
57.6324	35.70	0.3149	1.59945	3.20
68.1075	34.59	0.2362	1.37675	3.10
74.2409	179.37	0.1968	1.27746	16.10
77.3298	25.84	0.3149	1.23396	2.32
83.1183	33.49	0.1181	1.16211	3.01

Hasil Pengujian XRD Komposit Cu-10%wtSn waktu pencampuran 90 menit

- Temperatur sintering 200⁰C

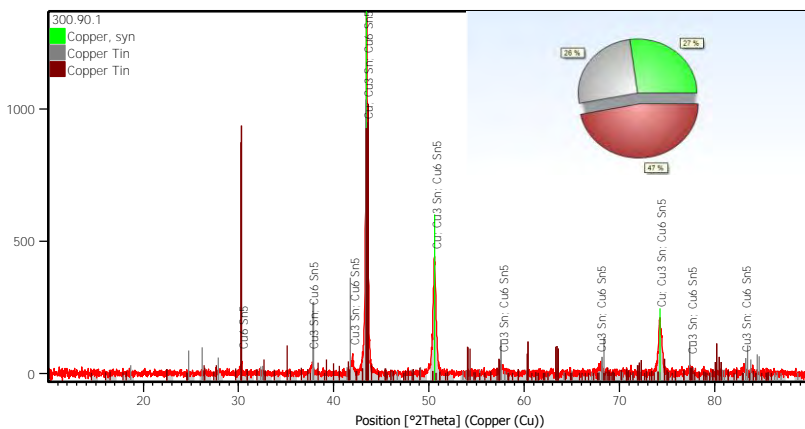


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.1669	38.14	0.1574	2.96257	2.49
30.6799	36.79	0.1181	2.91419	2.40
32.0402	44.73	0.0590	2.79351	2.92
37.5912	10.40	0.9446	2.39278	0.68
41.8677	41.19	0.1181	2.15773	2.69
43.3265	1531.75	0.1440	2.08668	100.00
43.4552	971.68	0.0960	2.08597	63.44
44.9704	36.94	0.1920	2.01414	2.41
50.4262	478.51	0.1200	1.80827	31.24
57.3885	7.66	1.1520	1.60434	0.50
67.8590	8.61	1.1520	1.38004	0.56
74.1521	265.06	0.1440	1.27771	17.30

- Temperatur sintering 300°C

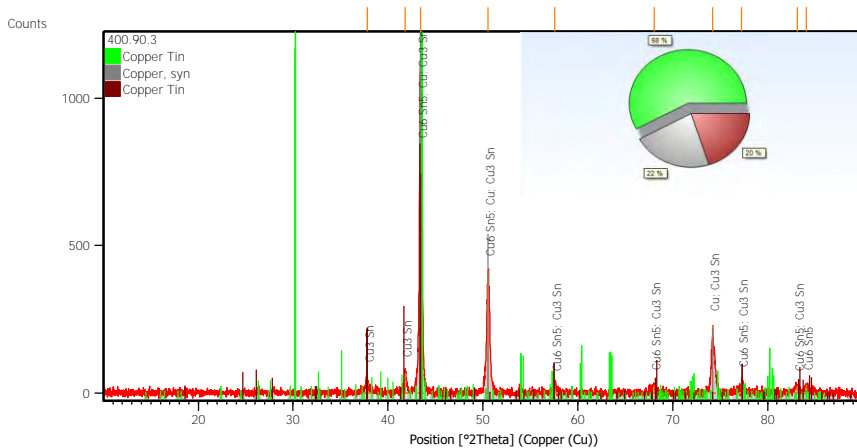
Counts



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
30.3202	37.07	0.2362	2.94795	2.69
37.7065	32.83	0.2362	2.38573	2.38
42.0081	50.59	0.1574	2.15085	3.67
43.4522	1376.75	0.1200	2.08093	100.00
43.5801	809.05	0.0960	2.08028	58.77
50.5850	414.06	0.1200	1.80297	30.07
57.6535	22.82	0.3840	1.59759	1.66
67.9376	20.74	0.5760	1.37863	1.51
74.2257	193.30	0.2400	1.27662	14.04
77.4692	16.95	0.5760	1.23107	1.23
83.1343	20.31	0.4800	1.16097	1.48

- Temperatur sintering 400°C



Peak List:

Pos. [2θ .]	Height [cts]	FWHM Left [2θ .]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
37.7905	53.01	0.1574	2.38062	4.34
41.8200	68.64	0.1968	2.16008	5.62
43.4612	1220.65	0.1574	2.08225	100.00
50.5360	413.91	0.1574	1.80609	33.91
57.5785	22.72	0.2362	1.60082	1.86
68.0331	26.68	0.3149	1.37807	2.19
74.2094	229.11	0.0960	1.27687	18.77
77.2800	35.50	0.1181	1.23464	2.91
83.1211	22.70	0.4723	1.16208	1.86
84.0967	26.87	0.3149	1.15107	2.20

Lampiran F

Kartu ICDD unsur Cu dan Cu₃Sn

- Cu

Date: 6/23/2016 Time: 2:32:26 PM User: Teknik Materi File: 400.90

User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 01-085-1326

Mineral name: Copper, syn
Compound name: Copper

Empirical formula: Cu
Chemical formula: Cu

Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic
Space group: Fm-3m
Space group number: 225

a (Å): 3.6150
b (Å): 3.6150
c (Å): 3.6150
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000

Volume of cell (10⁻⁶ pm³): 47.24
Z: 4.00

RIR: 8.86

Status, subfiles and quality

Status: Alternate Pattern
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Common Phase
Forensic
ICSD Pattern
Inorganic
Mineral
Quality: Indexed (I)

Comments

ANX: N
Creation Date: 11/20/2008
Modification Date: 1/19/2011
ANX: N
Analysis: Cu1
Formula from original source: Cu
ICSD Collection Code: 64699
Calculated Pattern Original Remarks: Cell from 2nd reference: 3.6151(2), Dm=8.94. Cell from 3rd reference: 3.6145 at 292 K, m.p. 1356.6 K. Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No R factors reported/abstracted. Wyckoff Sequence: a(FM3-M). Unit Cell Data Source: Single Crystal.

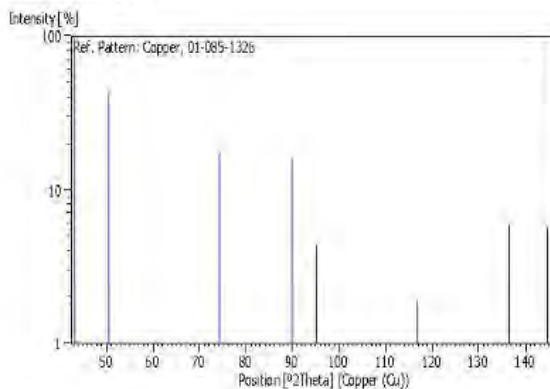
References

Primary reference: Swanson, H.E., Tatge, E., **15**, 472, (1933)
Structure: Swanson, H.E., Tatge, E., *Natl. Bur. Stand. (U. S.), Circ.* 539 **359**, 1, (1953)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	1	1	2.08710	43.317	100.0
2	2	0	0	1.80750	50.449	43.2
3	2	2	0	1.27810	74.126	17.6
4	3	1	1	1.09000	89.934	16.1
5	2	2	2	1.04360	95.143	4.4
6	4	0	0	0.90380	116.923	1.9
7	3	3	1	0.82930	136.514	5.9
8	4	2	0	0.80930	144.721	5.6

Stick Pattern



● Cu₃Sn

Date: 6/23/2016 Time: 2:32:38 PM User: Teknik Materi File: 400.90

User: Teknik Material

Name and formula

Reference code: 03-065-4653
Compound name: Copper Tin
Empirical formula: Cu₃Sn
Chemical formula: Cu₃Sn

Crystallographic parameters

Crystal system: Orthorhombic
Space group: Pmmn
Space group number: 59
a (Å): 5.4900
b (Å): 4.3200
c (Å): 4.7400
Alpha (°): 90.0000
Beta (°): 90.0000
Gamma (°): 90.0000
Volume of cell (10⁻⁶ pm³): 112.42
Z: 2.00
RIR: 6.82

Subfiles and quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic
Inorganic
NIST Pattern
Quality: Indexed (I)

Comments

Creation Date: 2/11/2005
Modification Date: 1/26/2011
NIST MSA collection code: A 25060 46138 2
Sample Preparation: Obtained by melting of elements
Temperature Factor: TF was not given, B set to 1.000 for calc
Minor Warning: No e.s.d reported/abstracted on the cell dimension. No Rfactor reported/abstracted
Unit Cell Data Source: Powder Diffraction.

References

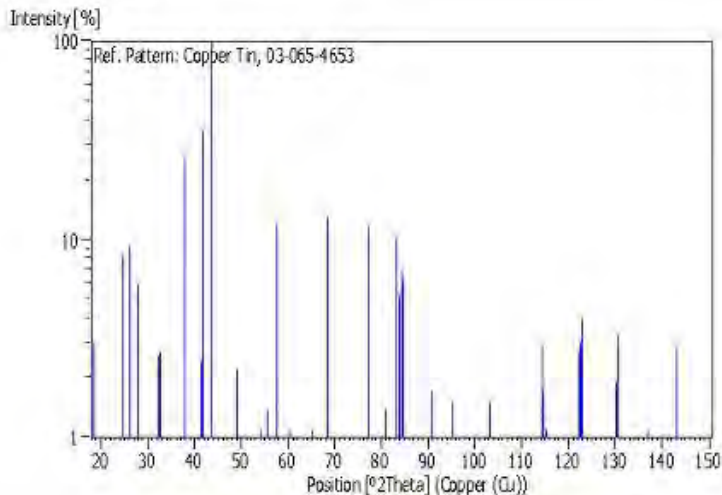
Primary reference: *Calculated from NIST using POWD-12++*
Structure: Burkhardt, W., Schubert, K., Z. *Metalld.*, **50**, 442, (1959)

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.74000	18.705	3.0
2	1	0	1	3.58780	24.796	8.3
3	1	1	0	3.39500	26.228	9.4
4	0	1	1	3.19290	27.921	5.9
5	1	1	1	2.76000	32.412	2.6
6	2	0	0	2.74500	32.594	2.7
7	2	0	1	2.37540	37.844	25.7
8	0	0	2	2.37000	37.934	26.1

9	1	0	2	2.17590	41.466	2.4
10	0	2	0	2.16000	41.786	34.9
11	2	1	1	2.08150	43.440	100.0
12	0	1	2	2.07780	43.521	89.1
13	0	2	1	1.96550	46.147	0.4
14	1	1	2	1.94330	46.705	0.9
15	1	2	1	1.85050	49.198	2.2
16	2	0	2	1.79390	50.859	0.3
17	3	0	1	1.70720	53.642	0.8
18	2	2	0	1.69750	53.974	1.1
19	3	1	0	1.68500	54.407	1.0
20	2	1	2	1.65670	55.415	1.4
21	2	2	1	1.59810	57.634	12.2
22	0	2	2	1.59810	57.634	12.2
23	3	1	1	1.58770	58.047	0.8
24	0	0	3	1.58000	58.357	0.5
25	1	2	2	1.53290	60.333	1.1
26	0	1	3	1.48390	62.544	0.1
27	3	0	2	1.44840	64.258	0.4
28	1	1	3	1.43250	65.059	1.1
29	1	3	0	1.39290	67.149	0.5
30	2	2	2	1.38000	67.861	0.4
31	0	3	1	1.37780	67.984	0.6
32	3	1	2	1.37250	68.283	6.0
33	4	0	0	1.37250	68.283	6.0
34	2	0	3	1.36940	68.459	13.2
35	3	2	1	1.33940	70.214	0.7
36	1	3	1	1.33640	70.395	0.5
37	4	0	1	1.31840	71.503	0.1
38	2	1	3	1.30540	72.326	0.1
39	0	2	3	1.27520	74.323	0.4
40	4	1	1	1.26090	75.311	0.5
41	2	3	1	1.23140	77.445	11.7
42	0	3	2	1.23140	77.445	11.7
43	3	2	2	1.20300	79.631	0.4

Stick Pattern



Lampiran G

Analisa Rietica dari hasil uji XRD Komposit Cu-10%wtSn pada temperatur sintering 200⁰C

- waktu pencampuran 30 menit

PHASE	1:	Cu			
PHASE	2:	Cu3Sn			
MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT		
PERCENTAGE OF PHASES:					
PHASE	1:	66.23	9.42	85.89	5.18
PHASE	2:	33.77	14.97	14.11	5.99
+-----+					
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin	
Unwght	Durbin	Wght	N-P		
+-----+					
	1	13.91	17.89	11.76	0.521
	0.893	3993			
+-----+					
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSSQ		
GOF	CONDITION				
+-----+					
	0.4014E+05	0.2887E+06	0.2794E+06		
	0.2887E+06	0.2313E+01	0.5747E+17		
+-----+					

- waktu pencampuran 60 menit

PHASE	1:	Cu			
PHASE	2:	Cu3Sn			
MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT		
PERCENTAGE OF PHASES:					
PHASE	1:	64.54	10.85	84.95	6.15
PHASE	2:	35.46	17.80	15.05	7.20

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 15.65 | 20.62 | 11.82 | 0.347
| 0.698 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.4476E+05| 0.2860E+06| 0.2738E+06|
0.2860E+06| 0.3045E+01| 0.6926E+17 |
+-----+

```

- waktu pencampuran 90 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu₃Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:		WEIGHT	
PERCENTAGE OF PHASES:			
PHASE 1:	63.95	9.42	84.62 5.39
PHASE 2:	36.05	15.63	15.38 6.34

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 14.23 | 18.38 | 12.03 | 0.565
| 0.914 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.3929E+05| 0.2760E+06| 0.2667E+06|
0.2760E+06| 0.2334E+01| 0.5927E+17 |
+-----+

```

Analisa Rietica dari hasil uji XRD Komposit Cu-10%wtSn pada temperatur sintering 300°C

- waktu pencampuran 30 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu3Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT	
PERCENTAGE OF PHASES:				
PHASE	1:47.09	9.39	73.41	7.46
PHASE	2:52.91	22.50	26.59	10.34

+-----+					
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin	
Unwght	Durbin	Wght	N-P		
+-----+					
1	18.68	25.17	13.18		0.270
0.574	3993				
+-----+					
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBS	SQ	
GOF	CONDITION				
+-----+					
0.4291E+05	0.2297E+06	0.2152E+06			
0.2297E+06	0.3646E+01	0.1210E+18			
+-----+					

- waktu pencampuran 60 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu3Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT PERCENTAGE	
OF PHASES:				
PHASE 1:	45.36	5.01	72.04	4.13
PHASE 2:	54.64	12.52	27.96	5.84


```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 14.83 | 18.82 | 12.27 | 0.520
| 0.893 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.3932E+05| 0.2651E+06| 0.2557E+06|
0.2651E+06| 0.2352E+01| 0.6185E+17 |
+-----+

```

- waktu pencampuran 90 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu₃Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES: WEIGHT PERCENTAGE
OF PHASES:

PHASE 1:	42.11	5.18	69.29	4.59
PHASE 2:	57.89	14.14	30.71	6.79

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 16.46 | 21.53 | 12.62 | 0.343
| 0.700 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.4126E+05| 0.2507E+06| 0.2391E+06|
0.2507E+06| 0.2910E+01| 0.7612E+17 |
+-----+

```

Analisa Rietica dari hasil uji XRD Komposit Cu-10%wtSn pada temperatur sintering 400⁰C

- waktu pencampuran 30 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu₃Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT	
PERCENTAGE OF PHASES:				
PHASE 1:	28.23	3.31	54.96	4.11
PHASE 2:	71.77	14.31	45.04	8.01

+-----+					
Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin	
Unwght	Durbin Wght	N-P			
+-----+					
1	18.60	25.19	12.78	0.239	
0.550	3993				
+-----+					
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSSQ		
GOF	CONDITION				
+-----+					
0.4548E+05	0.2446E+06	0.2290E+06			
0.2446E+06	0.3888E+01	0.1068E+18			
+-----+					

- waktu pencampuran 60 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu₃Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:			WEIGHT	
PERCENTAGE OF PHASES:				
PHASE	1:31.18	2.74	58.43	3.15
PHASE	2:68.82	10.60	41.57	5.71

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 15.87 | 19.95 | 12.87 | 0.535
| 0.881 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.3827E+05| 0.2411E+06| 0.2316E+06|
0.2411E+06| 0.2403E+01| 0.6364E+17 |
+-----+

```

- waktu pencampuran 90 menit

PHASE 1: Cu
PHASE 2: Cu₃Sn

MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:		WEIGHT	
PERCENTAGE OF PHASES:			
PHASE 1:	27.83	2.10	54.47 2.64
PHASE 2:	72.17	9.24	45.53 5.20

```

+-----+
| Hist | Rp | Rwp | Rexp | Durbin
Unwght| Durbin Wght | N-P |
+-----+
| 1 | 15.02 | 19.17 | 12.78 | 0.546
| 0.936 | 3993 |
+-----+
| SUMYDIF | SUMYOBS | SUMYCALC | SUMWYOBSSQ
| GOF | CONDITION |
+-----+
| 0.3675E+05| 0.2447E+06| 0.2357E+06|
0.2447E+06| 0.2252E+01| 0.6185E+17 |
+-----+

```

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering berpengaruh terhadap komposisi fasa intermetalik pada komposit Cu-10%wtSn.
 - Persentase fasa intermetalik yang paling optimum terdapat pada waktu pencampuran 90 menit dengan temperatur sintering 400°C yaitu sebesar 45,53% Cu₃Sn.
 - Porositas yang paling banyak ditemukan pada waktu pencampuran 90 menit di setiap variasi temperatur sintering.
2. Variasi waktu pencampuran dan temperatur sintering mempengaruhi sifat mekanik komposit Cu-10%wtSn.
 - Nilai kekerasan dan kekuatan tekan terbesar yaitu 82,05 HRF dan 412 MPa terdapat pada komposit Cu-10%wtSn dengan waktu pencampuran 30 menit dan temperatur sintering 400°C.
 - Nilai kekerasan dan kekuatan tekan terkecil yaitu 70,82 HRF dan 242 MPa terdapat pada komposit Cu-10%wtSn dengan waktu pencampuran 90 menit dan temperatur sintering 200°C.

5.2. Saran

Dalam penelitian ini, salah satu faktor penting untuk mengetahui distribusi fasa yang terbentuk dan bentuk morfologi fasa secara lebih jelas adalah dengan melakukan uji SEM dengan detektor *backscattered electron*. Maka menurut penulis perlu dilakukan proses pengampelasan secara tepat dan polishing pada permukaan sampel uji sebelum dilakukan uji SEM sehingga menghasilkan gambar yang lebih bagus.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Anugraha, V.G. 2014. **Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Proyektil Peluru *Frangible* dengan Metode Metalurgi Serbuk**. Surabaya: ITS
- Banovic, S. 2007. **Microstructural characterization and mechanical behavior of Cu-Sn frangible bullets**. *Materials Science and Engineering*, 428-435.
- Banovic, S. dkk. 2008. **Microscopic fracture mechanisms observed on Cu-Sn frangible bullets under quasi-static and dynamic compression**. *J Mater Sci*, 4840-4848.
- Benini, J.C. 2001. **Frangible Metal Bullets, Ammunition, and Method of Making Such Articles**. Amerika Serikat. Nomer Paten : US 6,263,798 B1
- Bosco, N.S. dan Zok, F.W. 2004. **Strength of Joints by Transient Liquid Phase Bonding in the Cu-Sn System**. *Acta Materialia* 53 (2005) 2019-2027
- Brook, G.B and Brandes, E.A. 1992. **Smithells Metals Reference Book Seventh Edition**. Oxford : Bath Press.
- Chagnon, F. 1992. **Effect of Compaction Temperature on the Sintered Properties of High Density P/M Materials**. In *Advances in Powder Metallurgy and Particular Materials* (pp. 106 - 126). Metal Powders Industrial Federation.
- Elliot, K. 2004. **Medium Density Bronze Shot**. *Patent No. WO 2004/090464 A1*.
- German, R. 1984. **Powder Metallurgy Science**. USA: Metal Powder Industries Federation.
- German, R.M. 1996. **Sintering Theory and Practice**. USA: John Wiley and Son.
- Habashi, Fathi. 1997. **Handbook of Extractive Metallurgy**. Germany: Wiley-Vch.
- Ibrahim, A. dkk. 2009. **An Experimental Investigation on the W-Cu Composites**. Mesir: Elsevier

- Jones, W.D. 1960. **Fundamental Principles of Powder Metallurgy**. Edward Aronold. London.
- Kaw, A.K. 2006. **Mechanics of Composite Materials Second Edition**. USA: CRC Press.
- Kruachaturrat, S dkk. 2009. "Sintering Cu-Sn Materials for Frangible Bullets." **The 3rd Thailand Metallurgy Conference (TMETC-3): Metallurgical Research for Thailand Development**. Bangkok: Thailand
- Kwon, Dongil. 2007. **Intermetallic Formation and Growth**. London: Springer.
- Larsson, A.K. 1994. **The Superstructure of Domain-Twinned η' -Cu₆Sn₅**. Sweden: Acta Cryst.
- Martinez, C. 2013. **Frangible Bullets and Its Manufacturing Method**. Amerika Serikat. Nomor Paten: US 8,365,672 B2
- Mikko, D., Michael K. dan Jerry M.. 2008. **Frangible Bullets, Dynamic Research Technolgies**. AFTE Journal-- Volume 40 Number 1—Winter 2008
- Mishra, M.K. 2013. **A Study of Intermetallics in Cu-Sn system and Development of Sn-Zn Based Lead free Solders**. Rourkela: NIT.
- Nadkarni, A.V., 2003. **Lead-Free Frangible Bullets and Process for Making Same**. Amerika Serikat Nomor Paten: US 6,536,352 B1
- Nakamura, Morihiko. 1995. **Fundamental Properties of Intermetallic Compounds**. USA: MRS Bulletin.
- Rao, C.B. 2010. **Morphology and Mechanical Properties of Intermetallic Compounds in SnAgCu Solder Joints**. Singapura: Elsevier.
- Shim, J.H dkk. 1996. **Phase Diagrams and Computational Thermodynamics**. National Institute of Standards and Technology U.S.
- Sofyan, B.T. 1996. **Pengaruh Kandungan Sn Dan Variabel Proses Metalurgi Serbuk Terhadap Karakteristik Paduan Dari Serbuk Cu Dan Sn**. Depok

- Tan A.C., editor. 1993. **Tin and Solder Plating in the Semiconductor Industry**. London: Chapman and Hall
- Tipler, Paul A. 1991. **Physics for Scientists and Engineers 3Edition**. USA: Worth.
- Wu, Y.Q. 2012. **A New Phase in Stoichiometric Cu_6Sn_5** . Australia: Acta Materialia
- _____.2000. **ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical Testing and Evaluation**. Ohio: ASM International
- _____.1992.**ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials**. Ohio: ASM International.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Alfian Zamil Meilani, lahir di Kabupaten Banyuwangi pada tanggal 16 Mei 1993. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Selamat dan Musilah. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri 2 Sidorejo, SMP Negeri 1 Purwoharjo, dan SMA Negeri 1 Glagah. Setelah lulus SMA pada tahun 2012 penulis diterima di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

melalui jalur SNMPTN Undangan. Semasa kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi baik di dalam maupun di luar kampus. Penulis pernah menjabat sebagai Kepala Departemen Keputrian Lembaga Dakwah Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Ash Habul Kahfi tahun kepengurusan 2014/2015. Pada tahun kepengurusan 2015/2016, Penulis aktif pada di JMMI-ITS sebagai wakil koordinator Badan Khusus Muslimpreneur. Dalam bidang akademik penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum Kimia Dasar. Penulis juga aktif dalam kegiatan perlombaan karya tulis ilmiah nasional yang diadakan DIKTI.

Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT Holcim Indonesia Tbk-plant Tuban pada bulan Agustus 2015. Selama kerja praktek penulis menangani masalah *maintenance* pada drag chain conveyor di PT Holcim Indonesia Tbk-plant Tuban.

Tugas akhir yang diambil penulis dalam topik Material Inovatif yang berjudul “Pengaruh Waktu Pencampuran dan Temperatur Sintering terhadap Komposisi Fasa Intermetalik dan Sifat Mekanik Komposit Cu-10%wtSn sebagai material peluru *Frangible*”.